



UNIVERSITÉ DE SHERBROOKE

Faculté de l'éducation

Étude de l'effet de la provocation d'un conflit cognitif chez des élèves du deuxième cycle  
du secondaire sur la conceptualisation du principe d'Archimède

Par

Georges Delisle

Essai présenté à la faculté d'éducation en vue de l'obtention du  
grade de maîtrise en éducation (M. Éd)

Juillet 2015

© Georges Delisle, 2015

UNIVERSITÉ DE SHERBROOKE

Faculté de l'éducation

Provocation d'un conflit cognitif chez des élèves raccrocheurs au  
secondaire sur la conceptualisation du principe d'Archimède

Georges Delisle

a été évalué par un jury composé des personnes suivantes:

Jean-Gabin Ntebutse \_\_\_\_\_ Membre du jury

Fatima Bousadra \_\_\_\_\_ Directrice d'essai

Essai accepté le \_\_\_\_ 2 septembre 2015 \_\_\_\_\_

## SOMMAIRE

Les préconceptions erronées reliées aux concepts scientifiques sont multiples et elles nuisent à l'apprentissage, car elles sont intuitives dans l'esprit des élèves. Plusieurs modèles d'enseignement sont utilisés pour que les élèves puissent déstabiliser leurs propres préconceptions erronées. Un de ces modèles est celui de l'utilisation du conflit cognitif. Cette stratégie pédagogique déclenche des itinéraires cognitifs peu utilisés et amène les élèves à mieux apprendre.

L'objectif principal de cet essai en didactique des sciences vise à dresser un parallèle entre deux approches pédagogiques en examinant les effets sur la performance des élèves concernant des notions scientifiques se rapportant au principe d'Archimède. Les élèves ont été soumis à un pré-test et à un post-test et entre les deux tests, il y a utilisation de l'une des deux méthodes d'enseignement: la confrontation (groupe-témoin) ou l'incertitude (conflit cognitif sur le groupe-expérimental). Une grille de correction du pré/post-test a été élaborée pour vérifier si le conflit cognitif augmente davantage les apprentissages chez le groupe expérimental. Près de 120 élèves de quatrième secondaire d'un cours de sciences d'une école de raccrocheurs ont participé à cette étude.

Les résultats d'un groupe expérimental et de deux groupes témoins ont été analysés et ils démontrent une différence mineure entre les deux types de groupe. En effet, les analyses démontrent que le conflit cognitif augmente le niveau de performance d'environ 15 % comparativement aux deux groupes témoins. De plus, les questions du pré/post-test ne présentent pas tous le même niveau d'augmentation de performance. Dans cet essai, l'utilisation de la stratégie du pré/post-test à réponses à courts développements comporte des unités linguistiques qui peuvent être ambiguës lors de la correction. Parmi les deux forces qui expliquent le principe d'Archimède, ce n'est pas la pesanteur qui cause principalement des problèmes aux élèves, mais bien le volume du fluide déplacé. La linguistique n'est pas la seule variable du pré/post-test, il y a aussi l'ambiance et la rigueur de l'enseignement qui peuvent influencer positivement ou négativement la performance des élèves.

## REMERCIEMENTS

Je tiens à remercier :

Mes parents qui sont des modèles pour moi, car Claudette a été enseignante au primaire et Gaudry a un doctorat en ingénierie métallurgique. D'un côté, mon père possède une très grande culture générale alors que ma mère a eu la patience de vérifier si j'avais vraiment bien compris les concepts. L'amalgame que cela a donné est que j'ai choisi les sciences en premier avant de choisir la pédagogie. Mes parents n'ont jamais cessé de m'encourager et je leur en suis gré.

Ma conjointe Geneviève qui m'a compris durant ces années en étant elle-même dans la même situation que la mienne. Merci à mes deux garçons, Victor et Édouard, qui me laissent des temps libres pour travailler à l'ordinateur. Ces deux petits hommes me donnent de l'énergie et m'inspirent. Même leurs devoirs du primaire m'ont inspiré.

Ma directrice, la professeure Fatima Bousadra, pour avoir accepté de me diriger, pour sa confiance, sa patience, son humilité et ses encouragements. Je la remercie chaleureusement pour son aide à mieux spécifier ma recherche et surtout, pour sa rapidité de correction.

Enfin, je remercie mes confrères de travail de l'école secondaire Amos et mes amis qui ont répondu au pré/post-test pour le développement d'une grille de correction qui j'espère, reflète ce qui se passe réellement entre leurs deux oreilles.

## TABLE DES MATIÈRES

<b>INTRODUCTION .....</b>	<b>9</b>
<b>PREMIER CHAPITRE – PROBLÉMATIQUE .....</b>	<b>11</b>
1. LE CONTEXTE PROFESSIONNEL DE L'ÉTUDE .....	11
2. LA PROBLÉMATIQUE DU PRINCIPE D'ARCHIMÈDE .....	13
2.1 Le principe d'Archimède dans le programme de sciences et technologies au secondaire .....	14
2.2 Le principe d'Archimède dans les évaluations ministérielles .....	16
2.3 Le principe d'Archimède dans les manuels .....	17
3. LES ENJEUX DIDACTIQUES DE L'ENSEIGNEMENT DU PRINCIPE D'ARCHIMÈDE .....	19
3.1 Les préconceptions erronées : quelques constats rapportés dans les recherches empiriques .....	19
3.2 Les concepts scientifiques présentant des préconceptions erronées : quelques exemples .....	20
3.3 Les conceptions des élèves au regard de la poussée d'Archimède .....	21
4. LES PRÉCONCEPTIONS ERRONÉES CHEZ LES FILLES ET LES GARÇONS .....	22
5. QUESTIONS DE RECHERCHE .....	23
<b>DEUXIÈME CHAPITRE – LE CADRE CONCEPTUEL .....</b>	<b>24</b>
1. LE CHANGEMENT CONCEPTUEL : QUELQUES PROPOSITIONS THÉORIQUES .....	24
1.1 Le conflit cognitif : un concept central dans les modèles théoriques du changement conceptuel .....	24
1.2 Quelques modèles théoriques .....	26
1.2.1 Modèle de Nussbaum et Novick .....	26
1.2.2 Modèle de Posner .....	27
1.2.3 Modèle de Hewson .....	27
1.2.4 Modèle de Giordan et DeVecchi .....	28
1.2.5 Modèle de Vosniadou .....	29
1.2.6 Modèle de DiSessa pour aider l'enseignant .....	30
2. LE PRINCIPE D'ARCHIMÈDE : TRAME CONCEPTUELLE ET OBSTACLES À L'APPRENTISSAGE .....	32
2.1 L'origine du principe d'Archimède .....	33
2.2 Au niveau de la conception du principe d'Archimède chez un élève .....	34
2.3 Au niveau du changement conceptuel .....	36

3. UNE SÉQUENCE D'ENSEIGNEMENT DU PRINCIPE D'ARCHIMÈDE FONDÉE SUR LA PROVOCATION D'UN CONFLIT COGNITIF CHEZ L'ÉLÈVE .....	37
4. LES OBJECTIFS SPÉCIFIQUES DE RECHERCHE .....	38
<b>TROISIÈME CHAPITRE – MÉTHODOLOGIE .....</b>	<b>39</b>
1. MÉTHODOLOGIE .....	39
1.1 Le qui .....	40
1.2 Le où .....	41
1.3 Le quand .....	42
1.4 Le quoi .....	42
1.5 Le pourquoi .....	42
1.6 Le comment .....	45
<b>QUATRIÈME CHAPITRE – LES RÉSULTATS .....</b>	<b>47</b>
1. ANALYSE QUANTITATIVE DES RÉSULTATS .....	47
1.1 Performance des élèves aux pré/post-tests: aperçu global .....	47
1.2 Résultats du pré/post-test par types de questions .....	49
1.2.1 Question 1: le ballon blanc et le ballon noir .....	49
1.2.2 Question 2: la bille de plomb et le bateau .....	51
1.2.3 Question 3: le sous-marin .....	53
1.2.4 Question 4: la montgolfière .....	54
1.2.5 Question 5: l'objet rectangulaire coupé en deux morceaux .....	56
1.2.6 Question 6: la glace qui flotte sur l'eau .....	58
<b>CINQUIÈME CHAPITRE – DISCUSSION DES RÉSULTATS .....</b>	<b>60</b>
1. CARACTÉRISTIQUES PRINCIPALES DU PRÉ/POST-TEST .....	60
1.1 Validité du groupe expérimental .....	60
1.2 Niveau de performance au pré-test .....	61
1.3 Niveau d'augmentation de performance au post-test .....	62
1.4 Efficacité du changement conceptuel .....	64
2. STRATÉGIES PROPOSÉES À L'INTENTION DES ENSEIGNANTS .....	65
2.1 Efficacité de la modélisation mathématique pour l'appropriation du principe d'Archimède .....	65
2.2 Efficacité linguistique .....	66
2.3 Habitudes interprétatives .....	67
<b>CONCLUSION .....</b>	<b>69</b>
1. IMPLICATIONS DE CE PROJET EN SCIENCES DE L'ÉDUCATION .....	69
2. RETOMBÉE DE L'ESSAI SUR MON DÉVELOPPEMENT PROFESSIONNEL .....	71

<b>RÉFÉRENCES BLIOGRAPHIQUES .....</b>	<b>72</b>
<b>ANNEXE A .....</b>	<b>75</b>
<b>ANNEXE B .....</b>	<b>76</b>
<b>ANNEXE C .....</b>	<b>77</b>
<b>ANNEXE D .....</b>	<b>79</b>
<b>ANNEXE E.....</b>	<b>91</b>



## LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 – Activité didactique en lien avec le principe d’Archimède .....	44
Tableau 2 – Résultats des pré/post-tests de groupes d’ATS .....	48
Tableau 3 – Différence de performance de la question 1 .....	50
Tableau 4 – Différence de performance de la question 2 .....	52
Tableau 5 – Différence de performance de la question 3 .....	54
Tableau 6 – Différence de performance de la question 4 .....	55
Tableau 7 – Différence de performance de la question 5a .....	57
Tableau 8 – Différence de performance de la question 5b et 5c .....	58
Tableau 9 – Différence de performance de la question 6 .....	59

« Il faut faire, à chaque instant, un grand effort sur  
soi-même pour ne pas confondre le familier  
avec le simple et, par suite, avec le vrai. »  
(Langevin.)

## INTRODUCTION

Enseigner les sciences au secondaire n'est pas une mince affaire pour un nouvel enseignant. Les cours de sciences et technologies contiennent des centaines de concepts et on y regroupe en une seule discipline plusieurs champs disciplinaires auxquels s'ajoutent les définitions des mots français, des mots anglais, des termes scientifiques et des termes populaires québécois. De plus, certains concepts scientifiques doivent être modernisés, car de nouvelles découvertes ou prouesses sont communiquées dans l'actualité.

On ne s'improvise pas professeur de sciences et technologies, car le travail de l'enseignant ne consiste pas seulement à présenter les concepts scientifiques, il faut que les apprentissages soient durables. Parmi tous les facteurs qui compromettent les apprentissages à long terme chez les élèves, il y a la présence de préconceptions erronées (PE) chez les élèves et aussi, chez des enseignants. Chacun de nous, avons construit des connaissances erronées dans notre tête de manière intuitive ou pas. Les PE ne se retrouvent pas uniquement dans le domaine de la mathématique et de la science et de la technologie. Il y en a aussi dans les langues, en histoire, en éducation physique et dans les arts. Les deux derniers sont principalement reliés à des concepts scientifiques comme par exemple, l'énergie et les illusions d'optique.

En ce qui concerne le deuxième cycle de l'école secondaire québécoise, le ministère de l'Éducation, du Loisir et des Sports (MELS) par le biais du programme de formation des élèves québécois (PFEQ), caractérise ce cycle par une plus grande spécialisation disciplinaire qui découle de l'évolution même des disciplines. Les savoirs sont donc plus approfondis qu'au premier cycle et par le fait même, plus morcelés. Parmi les quatre défis du PFEQ de conjuguer certaines exigences divergentes, c'est-à-dire l'autonomie des élèves,

la formation diversifiée, la spécificité disciplinaire et la progression des apprentissages, cet essai portant sur le principe d'Archimède est plutôt associé aux deux derniers défis. Ainsi, cette exigence sur le plan des savoirs concerne l'intégration des savoirs disciplinaires théoriques et pratiques. Ici, le jugement de l'enseignant devient essentiel pour reconnaître ce que les élèves savent déjà, ce qu'ils veulent apprendre et ce qu'ils vont apprendre. Pour qu'un enseignant puisse se retrouver devant ce foisonnement de concepts, il doit se référer à un autre document fourni par le MELS, c'est-à-dire la progression des apprentissages.

Pour enseigner les concepts scientifiques, l'enseignant peut utiliser soit l'une ou l'autre ou les deux compétences disciplinaires. Assurément, l'expérience de l'enseignant en classe va lui permettre de déceler si l'utilisation d'une compétence est plus adéquate qu'une autre en ce qui concerne un concept scientifique particulier. Par contre, même en utilisant les deux compétences disciplinaires, certains concepts sont peu ou pas retenus par les élèves. Dans le cours d'applications technologiques et scientifiques (ATS) de quatrième secondaire, les notions scientifiques entourant le principe d'Archimède sont obligatoires à enseigner, car le principe d'Archimède est présent dans l'épreuve à sanctions du MELS de fin d'année.

Cet essai en didactique des sciences vise à dresser un parallèle entre deux approches en examinant les effets sur les apprentissages concernant le principe d'Archimède. Le présent essai se divise en cinq chapitres. Dans le premier chapitre, la problématique du principe d'Archimède et les PE les plus communes sont présentées. Dans le second chapitre, le cadre conceptuel est présenté et plusieurs modèles utilisant le conflit cognitif seront expliqués. Ensuite, le principe d'Archimède est décortiqué étape par étape en démontrant les principales PE qui y sont associées et enfin, une séquence d'enseignement spécifique au principe d'Archimède sera décrite. Le troisième chapitre contient la méthode et les instruments de mesure. Les deux derniers chapitres portent sur l'analyse des résultats et sur une discussion portant sur les analyses de cette recherche. La dernière section présentant la conclusion est divisée en deux parties : 1) une sur les pistes d'avenir possibles pour cette recherche, et 2) une autre sur les impacts de cet essai en didactique sur le développement professionnel de l'auteur.

## PREMIER CHAPITRE – PROBLÉMATIQUE

Les préconceptions erronées (PE) en sciences et en mathématiques sont multiples et elles nuisent à l'apprentissage, car elles sont intuitives dans l'esprit de l'élève et elles sont donc difficiles à surpasser (Potvin, 2011). Un enseignant vigilant doit absolument tenir compte des PE car elles sont en rupture avec des faits scientifiques. Les PE affectent la performance de l'élève et tous les humains en ont, du novice jusqu'à l'expert. Après des années d'enseignement de sciences, un enseignant expérimenté serait en mesure de dire que tels ou tels concepts scientifiques sont plus faciles à faire apprendre. Certains concepts, plus coriaces à faire apprendre, laissent croire que c'est une question de complexité, mais ce n'est pas toujours le cas; certains concepts de base sont délaissés par l'élève lorsqu'il doit faire des liens entre les concepts. Il y a donc quelque chose qui ralentit les apprentissages chez l'élève.

### 1. LE CONTEXTE PROFESSIONNEL DE L'ÉTUDE

Les enseignants expérimentés savent qu'une réponse bizarre d'un élève est riche en informations pour juger si celui-ci fait les bons liens en utilisant les bons ancrages dans sa mémoire. Par exemple, lors d'un cours de science avec des élèves de quatrième secondaire, nous étions en train de discuter de sexualité. Une fille de 21 ans pose la question suivante: « si deux femmes couchent ensemble, et que l'une d'elle éjacule, est-ce qu'elles tombent enceintes les deux? » Au début, nous croyions qu'elle blaguait, mais nous nous sommes rendu compte qu'elle était sérieuse. Malheureusement pour elle, l'enseignant n'a pas eu le temps de donner une réponse, car d'autres élèves répondaient déjà à sa place : « pis le gars lui, il sert à quoi? »; « Tu n'as jamais entendu l'histoire de la fleur et de l'abeille? » Comme l'enseignant était en début de carrière, il n'a pas réussi à rattraper le discours et il a laissé passer l'incident en passant à un autre sujet. Cet enseignant regrette de ne pas avoir parlé à cette fille. Pourquoi a-t-elle dit cela? Est-ce uniquement un problème de définition du mot éjaculation ou est-ce plutôt des présuppositions ontologiques de sa part?

Un autre exemple de la présence de PE est celui d'un confrère qui enseigne les mathématiques. En parlant de gravité avec lui, il était certain que deux objets de masses différentes ne tombaient pas à la même vitesse. Il a donc pris un petit bout et un gros bout de craie et il s'est mis debout sur le bureau. Il a lâché les deux craies en même temps et il a bien vu qu'elles ont touché le sol ensemble. Bouche bée, il a réalisé que ses conceptions étaient fausses. L'enseignant en question est âgé de 52 ans et cela démontre que les PE font partie de l'esprit humain. À la fin de la discussion, il avait reçu des explications supplémentaires à l'aide de deux autres exemples. Est-ce qu'il a bien compris? Dorénavant, est-ce qu'il fait les bons liens? Ou est-ce qu'il revient à ses anciens chemins habituels?

Un dernier exemple de la présence des PE concerne un appareil technologique populaire: le micro-ondes. Il y a plusieurs années, pendant une discussion de groupe dans un cours de sciences, un élève affirme tout haut qu'en mettant un couvercle sur une tasse, l'eau va chauffer moins vite. Tout de suite, l'enseignant pose la question aux élèves : « qui croit que son affirmation est vraie? » Il y a eu six autres élèves qui ont levé leur main. Mais pourquoi font-ils ce lien et pas l'enseignant? Nous croyons que c'est dû au fait que l'enseignant a personnellement fait l'expérience dans sa cuisine. Il sait qu'il y a deux avantages lorsque l'on met un couvercle sur un plat dans le micro-ondes. Premièrement, il n'y a pas de nourriture qui éclabousse partout sur les parois. Deuxièmement, la nourriture gagne de la chaleur plus rapidement car le couvercle empêche l'énergie thermique de se dissiper. Ainsi, lorsqu'un enseignant discute des concepts de température et chaleur avec les apprenants, il devrait absolument parler des PE en donnant l'exemple de l'utilisation du couvercle dans le micro-ondes. De cette manière, certains élèves vont se remettre en question et réaliseront que leurs conceptions de départ étaient erronées. Et plus tard, lorsque l'élève est rendu dans sa cuisine, est-ce qu'il met davantage un couvercle? Est-ce qu'il partage son savoir avec les autres membres de sa famille?

Avant de faire le tour des PE les plus populaires, il faut les situer dans l'enseignement en classe. Premièrement, elles doivent être recensées par l'enseignant pour mieux les aborder dans une discussion ouverte avec le groupe. Les PE peuvent être utilisées comme élément déclencheur et servir d'amorce. Ainsi, l'utilisation des PE se retrouve principalement dans l'activation des connaissances et cette étape est primordiale pour

l'apprentissage, car l'apprenant aura un meilleur contrôle de la tâche à réaliser (Potvin, 2011). De plus, l'élève sera davantage en mesure de construire de nouveaux réseaux de connaissances et d'informations. Activer les connaissances antérieures (effectives et défectives) repose sur trois procédures. La première consiste à déterminer les conditions d'activation (le quand et le pourquoi). Par exemple, l'enseignant devient l'outil qui ébranle les conceptions de l'élève en créant un conflit cognitif. Ce dernier amène l'élève à réfléchir si ses conceptions sont justes et si cela l'aide à donner du sens à ce qu'il sait déjà. Aussi, l'activité permet à l'élève d'organiser ses connaissances afin d'avoir le réflexe d'utiliser les chemins moins fréquentés dans son esprit (métacognition). La deuxième activité consiste à choisir les connaissances à traiter (le quoi), c'est-à-dire le concept en jeu. Enfin, la dernière est de choisir les activités (modèles d'enseignement) pour activer les connaissances antérieures (le comment). Le choix des modèles dépend d'une part des modalités, du temps et des stratégies utilisées par l'élève pour réaliser la tâche demandée et d'autre part de la structure conceptuelle du concept en jeu.

## 2. LA PROBLÉMATIQUE DE L'ENSEIGNEMENT-APPRENTISSAGE DU PRINCIPE D'ARCHIMÈDE

La discipline de la science et de la technologie exemplifie « parmi les manifestations les plus révélatrices de la pensée humaine » (Gouvernement du Québec, 2007, p. 225) et possède ainsi une importance primordiale au sein du domaine de l'éducation. En effet, cette discipline est axée sur « le questionnement, l'exploration, l'observation systématique et l'expérimentation » (Gouvernement du Québec, 2007, p. 275) et cherche à amener l'élève à expliquer des phénomènes tout en lui permettant de se « représenter le monde dans lequel il vit pour mieux le comprendre et s'y adapter » (Gouvernement du Québec, 2007, p.225).

Parmi tous les domaines scientifiques, à savoir l'astronomie, la biologie, la chimie, la géologie, la physique et la technologie, certains concepts sont plus difficiles à apprendre et par le fait même, difficiles à enseigner. Un de ces concepts coriaces à apprendre est celui du principe d'Archimède, car il est très commun chez les élèves d'avoir des PE associées

avec la flottaison (English, Davies et Green, 2008). Tout d'abord, en ce qui concerne l'apprentissage du principe d'Archimède, il faut le situer dans le PFEQ.

## **2.1 Le principe d'Archimède dans le programme de sciences et technologies au secondaire**

La première compétence disciplinaire (CD1) amène l'apprenant à chercher des réponses à des problèmes scientifiques ou technologiques. Cette compétence possède un caractère méthodologique prononcé qui est axé sur le développement de concepts et de stratégies à l'aide des démarches d'investigation en faisant appel à l'observation et l'expérimentation. En deuxième année du deuxième cycle dans le cours d'ATS, les élèves doivent apprendre trois principes scientifiques dont celui du principe d'Archimède. Une expérience de laboratoire peut être faite sur le principe d'Archimède par les élèves qui suivent un protocole expérimental et qui complètent un cahier de laboratoire. En laboratoire, c'est facile de voir si un objet coule ou flotte, car on peut le voir directement si on place l'objet dans l'eau. Le laboratoire est complété après avoir vu les notions théoriques sur le principe d'Archimède. Ce n'est pas au niveau de la CD1 que le principe d'Archimède cause des problèmes, c'est plutôt au niveau de la deuxième compétence.

La deuxième compétence disciplinaire (CD2) cherche à amener l'individu à appliquer ses connaissances scientifiques et technologiques dans une multitude de contextes (Gouvernement du Québec, 2007). Cette compétence met l'accent sur le transfert des apprentissages et exige une certaine réflexion sur la nature de ses connaissances et de l'importance de leurs ramifications à l'intérieur de multiples sphères. Cette compétence concerne autant la compréhension de processus naturels que du fonctionnement d'objets techniques et mène l'apprenant à être en mesure de mieux comprendre le Monde dans lequel il se retrouve et d'établir de justes jugements vis-à-vis de différentes problématiques.

Spécifiquement sur l'apprentissage du principe d'Archimède de 4e secondaire, plusieurs apprentissages devraient déjà être acquis par l'élève dans des années antérieures. Pour aider les enseignants à situer les apprentissages, le Ministère de l'Éducation a publié un document sur la progression des apprentissages au secondaire (Gouvernement du Québec, 2011). En somme, ce document précise les connaissances que les élèves doivent

acquérir et doivent être capable d'utiliser dans divers contextes, car le rôle de l'école est d'amener progressivement les élèves à élargir, à approfondir et à organiser les connaissances. Parmi les quatre univers scientifiques, le principe d'Archimède se retrouve uniquement dans l'univers matériel. Dès le premier cycle du secondaire, l'élève est supposé acquérir les notions de masse et de volume car ce sont des propriétés de la matière. Ensuite, au début du deuxième cycle (3<sup>e</sup> secondaire), l'élève devrait être initié à la masse volumique, c'est-à-dire la masse divisée par le volume qui est une propriété caractéristique de la matière. Ainsi, l'élève devrait être en mesure d'expliquer le concept, de déterminer la masse volumique de différentes substances et d'identifier des substances liquides et solides à l'aide d'un document de références.

Idéalement, lorsqu'un élève arrive en deuxième année du deuxième cycle, il devrait maîtriser tous ces concepts. Mais l'enseignant doit revoir tous ces concepts car les élèves oublient rapidement. Ensuite, avant d'enseigner le principe d'Archimède, l'enseignant doit préalablement avoir couvert d'autres concepts scientifiques comme la force, les types de force, l'équilibre entre deux forces et la relation entre la masse et le poids (Gouvernement du Québec, 2011). Enfin arrive le principe d'Archimède qui concerne les fluides et déjà, l'enseignant doit expliquer ce qu'est un fluide car les élèves l'ont oublié, ou certains ne l'ont jamais vu. En résumé, les élèves doivent être capables d'expliquer en quoi consiste le principe d'Archimède et quand ils doivent l'utiliser. Il faut qu'ils soient capables de décrire la relation entre le poids du volume d'eau déplacé par un corps immergé et la poussée verticale subie. Deuxièmement, ils doivent être capables d'expliquer la flottabilité d'un corps à l'aide du principe d'Archimède. Obligatoirement, le principe d'Archimède doit être couvert par l'enseignant car les élèves sont toujours évalués sur le principe d'Archimède à la fin de l'année dans l'examen du MELS.

Si le programme inscrit le principe d'Archimède parmi les objets à enseigner, c'est pour tout l'intérêt qu'il revêt sur le plan scientifique et technologique. Il permet en effet, d'expliquer plusieurs phénomènes scientifiques comme la flottabilité. Par exemple, les ingénieurs le mobilisent pour construire des bateaux, des sous-marins et des montgolfières. En plus de ce principe, ils doivent, tenir compte du centre de carène pour empêcher le véhicule de tourner sur lui-même. Or, en classe, les élèves ne saisissent pas cette



importance. D'ailleurs, une élève a déjà répondu à son enseignant : « Monsieur, le bateau qui flotte, il flotte et c'est tout; on ne se demande pas pourquoi il flotte; on voit qu'il flotte ». Cet exemple illustre la complexité pour l'enseignant de gérer l'apprentissage de ce principe d'un point de vue motivationnel car il n'est pas toujours facile de faire des liens entre ce savoir et la vie quotidienne de l'élève.

## **2.2 Le principe d'Archimède dans les évaluations ministérielles**

En science, la CD1 n'est pas évaluée par le Ministère de l'Éducation à l'aide d'un examen à sanctions. Un enseignant peut évaluer les connaissances des élèves sur le principe d'Archimède en laboratoire mais cela n'est pas obligatoire. Par contre, la CD2 est évaluée par le Ministère dans un examen en fin d'année. L'examen dure trois heures et quart et l'élève n'a pas le droit à une feuille aide-mémoire. Les critères d'évaluation sont la maîtrise des connaissances ciblées, l'utilisation pertinente des connaissances et la production adéquate d'explications ou de solutions. Parmi la centaine de concepts scientifiques à intégrer, on retrouve les trois principes sur les fluides dont celui d'Archimède. La question de l'examen du ministère se rapportant à la maîtrise et à la mobilisation des connaissances sur le principe d'Archimède peut être une question à choix multiple ou une question qui demande une courte réponse construite. Pour être en mesure de bien répondre à la question sur le principe d'Archimède, l'élève doit être capable de mettre en œuvre une combinaison de concepts (éléments, opérations, relations ou modèle) se rapportant aux réalités scientifiques et technologiques.

Depuis 2008, c'est-à-dire depuis la réforme scolaire, tous les examens à sanctions du cours ATS comportent au moins une question sur le principe d'Archimède sur 25 questions de l'examen. Par exemple, dans la version de l'examen de 2008, il y avait une question sur un flotteur déposé à la surface d'un lac. Plusieurs élèves ont répondu que le flotteur coule au fond car sa masse est augmentée, et ce malgré la suggestion du nom de l'engin. Plus rarement, certains élèves ont répondu que le flotteur flotte dans l'air! Généralement, l'élève n'a pas besoin de faire des calculs mathématiques pour trouver la réponse. Il n'a qu'à tenir compte du poids de l'objet et du poids du volume du fluide déplacé par le même objet.

Récemment, à l'examen à sanctions du Ministère de janvier 2014, sur 70 élèves d'ATS de secondaire quatre d'une école secondaire de Montréal-Nord, il n'y a eu que trois élèves qui ont parfaitement rempli les exigences d'une question à court développement sur le principe d'Archimède. Pourtant, l'élève n'avait qu'à donner des explications sur le volume de l'objet pour réussir cette question. Plusieurs réponses étaient aberrantes et cela démontre que le principe d'Archimède est encore un concept abstrait pour plusieurs élèves. Il est difficile pour les élèves d'imaginer une force virtuelle, c'est-à-dire une force qu'ils ne voient pas. Les élèves voient qu'un bateau est capable de flotter, mais ils ne savent pas pourquoi il flotte. Pourtant, le métal de la coque du bateau est lourd, comment fait-il pour flotter? Et le sous-marin, comment fait-il pour contrôler sa flottabilité? Et la montgolfière? Ces trois exemples concrets sont explicables à l'aide du principe d'Archimède. Même si la découverte date de plus de 2250 années par le Grec Archimède, le principe reste encore obscur dans l'esprit de la majorité des élèves.

### **2.3 Le principe d'Archimède dans les manuels**

L'élève doit acquérir un raisonnement selon lequel, la surface de contact d'un objet avec l'eau est le facteur majeur qui influence la flottabilité de l'objet. De plus, il devra adopter un raisonnement selon lequel, la masse n'est pas le seul facteur déterminant de la flottabilité d'un objet, en comprenant que deux objets de même masses peuvent subir un scénario bien différent (l'un coule, l'autre flotte). Dans le manuel Observatoire de 4<sup>e</sup> secondaire (Cyr, Forget et Verreault, 2008), il n'y a que trois pages sur le principe d'Archimède avec sept images. En haut de la page 95, il y a une courte explication historique d'Archimède et de son fameux principe. La première image est celle d'un poisson qui subit des forces de tous côtés par la pression de l'eau. Comme la pression de l'eau augmente avec la profondeur, la pression qu'exerce l'eau à la base du poisson est plus grande que celle que l'eau exerce à son sommet. Ainsi, la force résultante est orientée vers le haut. Cette image nous informe sur l'origine d'une force verticale dirigée vers le haut mais elle est une source de confusion pour les élèves, car ils ne sont pas capables d'expliquer pourquoi l'eau plus profonde exerce plus de pression que l'eau au-dessus de l'objet. La deuxième image est celle d'une championne de natation qui flotte. Les auteurs donnent les caractéristiques de la silhouette qui peuvent modifier la flottabilité du corps

humain comme le poids, la densité musculaire et osseuse. Mais ces informations aident très peu les élèves à comprendre l'origine de la force de poussée d'Archimède et à la calculer. Enfin, à la page 96 du manuel Observatoire, on retrouve les trois situations possibles lorsque l'on met un objet dans un fluide (flotte, coule ou se maintient à la même profondeur). L'élève voit les trois scénarios possibles mais aucun exemple de calculs n'est présenté. Par contre, il y a une image d'un bateau qui subit deux forces verticales appelées  $F_g$  et  $F_p$  expliquées plus loin à la section 3.3 de cet essai. La plus grande des deux forces indique si l'objet monte ou descend. À la fin, il y a une image d'un sous-marin qui contrôle sa flottabilité en remplissant ses ballasts avec de l'eau ou de l'air. Ces trois pages expliquent théoriquement le principe d'Archimède, mais est-ce que l'élève a pour autant compris et a tout retenu? Permettez-nous d'en douter grandement.

Pour aider l'enseignant et les élèves, l'éditeur ERPI propose un cahier d'activité d'Observatoire. Or, une analyse didactique des exercices proposés montre que ceux-ci restent rudimentaires. En effet, les tâches d'apprentissage consistent dans un premier temps à amener les élèves à associer les trois principes des fluides avec leurs découvreurs respectifs. Ensuite, il leur est demandé d'écrire, avec l'aide de l'enseignant, les trois scénarios possibles lorsque l'on résout un problème sur le principe d'Archimède. Et finalement, ils doivent répondre à une question sur les trois scénarios en regardant simplement la grandeur des flèches qui représentent des forces. Ces tâches montrent une absence totale d'une modélisation formelle pourtant nécessaire à faire. La démonstration de l'efficacité pédagogique de déterminer, de manière précise à l'aide de modèle mathématiques, les forces qui pourraient aider davantage les élèves n'a pas été dénotée dans la littérature. De plus, des références à la masse, au volume, à la densité et à la masse volumique sont également absentes. Ainsi, on peut légitimement supposer qu'avec le manuel et le cahier d'activité, les élèves ne peuvent bien saisir tout ce que le principe d'Archimède implique d'un point de vue conceptuel. C'est pourquoi l'enseignant doit nécessairement recourir à diverses stratégies d'enseignement (des explications présentées magistralement, des démonstrations, des expériences de laboratoire, etc.). Une des stratégies possibles pour amener à remettre en question leurs mauvaises conceptions est de créer un conflit cognitif dans leurs esprits. Nous pensons que c'est une voie prometteuse pour l'enseignement du principe d'Archimède. Mais avant d'expliquer les modèles

d'enseignements qui peuvent créer un conflit cognitif dans la tête des élèves (chapitre 2), nous allons présenter un survol des préconceptions erronées les plus communes en sciences et leurs origines.

### 3. LES ENJEUX DIDACTIQUES DE L'ENSEIGNEMENT DU PRINCIPE D'ARCHIMÈDE

#### 3.1 Les préconceptions erronées : quelques constats rapportés dans les recherches empiriques

D'emblée, Vosniadou et Brewer (1992) ont répertorié jusqu'à huit origines différentes des PE : mythes populaires, préjugés, films, publicités, expressions, illustrations et animations trompeuses, mauvais enseignements et la pensée divine (pensée magique). Bien vite, on se rend compte que c'est quasiment tout ce qui nous entoure qui peut être dupeur. D'un autre côté, il ne faut pas s'imaginer que les PE sont toujours néfastes. Par exemple, les arts ont besoin des mythes et ils se sont développés en grande partie grâce à eux. De même que la pensée magique a permis à des personnes de traverser des épreuves difficiles. Les PE sont courantes dans la vie quotidienne comme les médicaments homéopathiques qui guérissent. Les experts savent que l'hyperdilution est une pseudo-science et que la mémoire de l'eau n'existe pas. Et pourtant, il s'avère extrêmement difficile de faire comprendre à un non-initié que l'homéopathie n'est pas scientifiquement reconnue. Plus récemment, le pourcentage d'enfants québécois vaccinés contre la rougeole a diminué au Québec. Est-ce que cela veut dire que les parents récalcitrants ont développé une peur envers la science ou qu'ils ont développé des nouvelles PE? De même, la peur des ondes électromagnétiques des compteurs intelligents d'Hydro-Québec est-elle fondée?

En ce sens, Thouin (2001) identifie cinq mécanismes principaux à travers lesquels se forment les conceptions non scientifiques : l'inférence, la restriction, l'extension, l'établissement d'un lien direct entre deux idées et la formation de catégories générales mentales. Les trois premiers mécanismes sont en fait des fausses extrapolations ou des raccourcis non raisonnés que l'élève fait instinctivement en utilisant ses PE. Les deux derniers concernent une mauvaise catégorisation mémorielle (des attributs ou leurs

absences associés à tort un concept) ou plus simplement, une mauvaise définition de certains concepts. Ces cinq mécanismes doivent être connus par l'enseignant pour être en mesure d'activer les bons liens entre les concepts enseignés en sciences. Les mécanismes cognitifs sont utilisés inconsciemment par l'élève parce qu'ils sont intuitifs et généralement, ils sont construits sur des bases inexactes et sont fortement ancrés dans la mémoire (Nussbaum et Novick, 1982). À l'aide d'imageries par résonance magnétique fonctionnelle (IRMf), des recherches ont démontré que si les experts en science performant mieux aux tests cognitifs, c'est grâce à leurs capacités d'inhiber les mauvaises conceptions antérieures (Fugelsang et Dunbar, 2005). Ainsi, les PE resteraient toujours présentes dans toutes les mémoires, même celles des experts (Turmel, 2012). Comme l'enseignant ne peut prétendre débarrasser l'esprit de l'apprenant de ses PE, il doit nécessairement aider les élèves à surpasser ou du moins, faire évoluer par eux-mêmes leurs propres PE.

Ainsi, on peut noter que les PE sont très résistantes et difficiles à surpasser, car l'esprit humain préfère ce qu'il connaît et adopte facilement des conceptions simplistes. Une autre raison qui explique que les PE soient aussi coriaces à surpasser est une méfiance excessive par l'élève. Possiblement, c'est une trop grande variété de choix de médias dont internet, qui pourrait expliquer ce phénomène. Pour l'élève *connecté* de 2015, l'enseignant n'est qu'une ressource parmi tant d'autres. Il est donc nécessaire que l'enseignant développe un lien de confiance puissant pour que l'élève reconnaisse son expertise. Par exemple, lorsqu'un enseignant aborde en classe la théorie de l'évolution, un élève pourrait y croire comme il pourrait croire à la réincarnation. Pour lui, les deux théories ont la même valeur dans son esprit. Il est en effet difficile pour un enseignant de prouver la théorie de Darwin à un élève sceptique qui fort probablement retournera très rapidement à ses anciennes habitudes et à ses anciennes connaissances.

### **3.2 Les concepts scientifiques présentant des préconceptions erronées : quelques exemples**

Dans la perspective d'aider l'enseignant à gérer efficacement les PE, Potvin (2011) rassemble plusieurs informations les concernant. Il propose de regrouper les PE selon les domaines disciplinaires auxquelles elles peuvent être rattachées. Le premier est celui de la mécanique avec la gravité (astronomie), le principe d'Archimède, la friction, l'air et la

technologie. Le deuxième domaine est celui de l'électricité où l'élève a des difficultés au regard des notions de charge de l'atome et d'énergie électrique. Le troisième est l'optique et des concepts connexes comme les ondes électromagnétiques. Il y a aussi le domaine de la thermodynamique avec le vide, le froid, la pression et le temps. Le cinquième concerne le domaine de la biologie avec des PE sur les concepts de l'évolution, de l'équilibre des écosystèmes et de l'ADN par exemples. L'évolution et ses concepts scientifiques est le domaine qui représente le plus de PE. Enfin, le dernier est celui de la chimie avec l'atome, la transparence, la dissolution, la rouille et le feu. L'auteur souligne que ces domaines ne sont pas exclusifs et que certaines PE sont liées à plusieurs domaines.

### **3.3 Les conceptions des élèves au regard de la poussée d'Archimède**

Pour être en mesure de bien comprendre le principe d'Archimède, l'élève doit préalablement maîtriser les notions de force, de volume et de masse. Sans cela, il sera face à un obstacle didactique de taille lorsqu'il sera temps de résoudre un problème concernant ce principe. En 4<sup>e</sup> secondaire, le PFEQ ne demande que de décrire et d'expliquer le principe d'Archimède sans utiliser de modèles mathématiques. Pour notre part, nous croyons que le fait d'amener l'élève à modéliser la relation entre les différentes grandeurs en jeu pour trouver la force résultante pourrait aider les élèves. Cependant, cela pose de nouveaux problèmes, car au pré-requis de la force gravitationnelle ( $F_g$ ), s'ajoutent celle de la connaissance de l'unité des Newton et des critères d'homogénéité des unités des grandeurs impliquées qui nécessitent la maîtrise de la conversion des unités. Par exemple, si une question portant sur le principe d'Archimède nécessite des calculs, il est possible qu'un élève se trompe lorsqu'il va transformer les grammes en kilogrammes et vice versa. Si ces pré-requis peuvent sembler simples du fait qu'ils relèvent d'un savoir-faire technique que l'élève peut acquérir par la pratique d'exercices, il faut noter qu'ils revêtent une importance centrale pour réussir les examens lorsque le principe d'Archimède est l'objet d'évaluation en classe. Maintenant, nous allons décrire la trame conceptuelle de ce principe.

Les notions de  $F_g$  et de  $F_p$  (force de poussée d'Archimède) sont en lien direct puisque l'élève peut déterminer ces forces afin d'être en mesure de mener à terme un exercice en fonction de l'un des trois scénarios possibles. Si  $F_p < F_g$ , l'objet coule, si  $F_p =$

Fg, l'objet est stable (immobile) et si  $F_p > F_g$ , l'objet flotte. Dans la formule :  $F_g = M_o \times g$ , qui est issue de la deuxième loi de Newton  $F = ma$ ,  $M_o$  représente la masse de l'objet et  $g$  représente l'accélération gravitationnelle ou l'intensité du champ gravitationnel terrestre ( $9,8 \text{ m/s}^2$  ou  $9,8 \text{ N/Kg}$ ). En ce qui concerne le calcul de la  $F_p$ , il faut utiliser la même formule sauf que  $F_p = M_d \times g$  où  $M_d$  signifie la masse du fluide (liquide ou gazeux) déplacé par l'objet. Enfin, la masse volumique est également une notion pré-requise et donc forcément liée pour comprendre le principe d'Archimède. Pour comprendre, l'élève doit être en mesure d'imaginer une force invisible qui pousse un objet dans le sens contraire à la  $F_g$ , c'est-à-dire vers le haut. Selon Thouin (2001), les principales PE en lien avec le principe d'Archimède sont dus à un mauvais vocabulaire. Par exemple, un élève peut affirmer qu'un petit objet va flotter alors que le gros coule. Est-ce qu'un objet dur coule toujours? Et le lourd? Il y a aussi des concepts plus sensibles comme la densité, l'air, l'aire, le poids, le volume, etc. Est-ce que la majorité des élèves sont capables d'expliquer le fonctionnement d'un sous-marin ou celui d'une montgolfière en utilisant les bons termes?

#### 4. LES PRÉCONCEPTIONS ERRONÉES CHEZ LES FILLES ET LES GARÇONS

Potvin et Hasni (2014), dans leur synthèse intitulée la motivation et l'attitude envers la science et la technologie, ont fait le tour sur tout ce qui concerne les gars et les filles depuis les 12 dernières années dans la base de donnée ERIC. Ils affirment que l'échantillon étudié ne permet pas de déceler de différences entre les garçons et les filles au niveau de la motivation envers les sciences et technologie. Aussi, ils affirment que les femmes optant pour la science, choisissent majoritairement la biologie à l'université, plus spécifiquement dans un domaine de la santé. En ce qui concerne l'intérêt envers les sciences, ces mêmes auteurs affirment que les gars préfèrent les sciences lorsqu'il y a un but compétitif alors que les filles sont plus motivées (intéressées) si l'activité est sociale.

Dans cette même synthèse, Potvin et Hasni (2014) suggèrent que la manière d'enseigner les sciences est plus importante que le concept qui est à enseigner. Dans le même sens, d'autres auteurs affirment que le style cognitif utilisé en classe peut être plus efficace pour augmenter la motivation chez les deux sexes (Zeyer et Wolf, 2010). Ces

derniers rapportent que la forme de l'activité pédagogique stimule davantage l'élève que le concept scientifique ou le but d'apprentissage. Ainsi, le contenant est plus important que le contenu dans l'enseignement des sciences.

## 5. QUESTIONS DE RECHERCHE

À l'aube de cette recherche sur les PE, l'objectif était de connaître les stratégies d'enseignement qui pourraient aider les enseignants de sciences à mieux enseigner des concepts chargés de conceptions erronées. Notons qu'il est utopique de penser qu'une stratégie quelconque peut à elle seule assurer un surpassement d'une PE dans l'esprit de l'élève. Plusieurs variantes peuvent influencer le choix d'utiliser un modèle au lieu d'un autre. Par exemple, le nombre de liens avec le concept principal à enseigner, la complexité du concept, la possibilité de manipuler des données empiriques, etc.

Dans le cadre de cet essai, l'objectif principal est d'essayer d'améliorer la réussite des élèves en privilégiant le modèle de l'incertitude de Posner, Strike, Hewson et Gertzog (1982) dans les classes de sciences et de technologies. Pour y arriver, nous nous posons la question générale suivante: quel est l'effet de la stratégie de l'incertitude dans l'enseignement des sciences sur les apprentissages des élèves en lien avec le principe d'Archimède? Dans le chapitre suivant, nous présentons le cadre théorique de cet essai qui nous permettra de répondre à cette question.



## **DEUXIÈME CHAPITRE – LE CADRE CONCEPTUEL**

### **1. LE CHANGEMENT CONCEPTUEL : QUELQUES PROPOSITIONS THÉORIQUES**

Pour qu'un enseignant puisse amener les élèves à surpasser leurs propres PE, plusieurs auteurs suggèrent que les apprenants devraient subir un conflit cognitif dans leurs esprits pour qu'ils réalisent par eux-mêmes que leurs premières idées ne sont pas adéquates. Ce conflit déclenche des itinéraires cognitifs peu utilisés et amène les élèves à mieux apprendre. Or, si le conflit est essentiel, il ne peut à lui seul assurer une durabilité des apprentissages. Cette recherche est structurée autour de deux concepts-clés : 1) le concept de conflit cognitif; 2) Le principe d'Archimède et ses concepts afférents.

#### **1.1 Le conflit cognitif : un concept central dans les modèles théoriques du changement conceptuel**

Le changement conceptuel est une voie intéressante pour aider l'enseignant à ce que les élèves ne reviennent pas à leurs conceptions erronées. Comme expliqué plus haut, les élèves doivent défricher de nouveaux chemins dans leurs esprits pour ancrer les nouvelles connaissances. Le plus dur reste à faire, car il faut que les élèves continuent à utiliser ces nouveaux chemins peu fréquentés et il ne faut pas qu'ils reviennent instinctivement aux chemins les plus fréquentés dans leurs intellections. Nous savons que les conceptions dans l'esprit de l'élève doivent s'harmoniser avec la nature de la science. Ces conceptions doivent être valorisées pour que l'élève ne les oublie plus. Nous savons également que la durabilité du changement conceptuel dépend de la mémoire à long terme. La différence entre celui qui oublie et celui qui se rappelle, c'est que l'expert inhibe consciemment ses fausses idées en utilisant des stratégies métacognitives. Aussi, elles dépendent de la sélection par chaque individu de certaines connaissances au niveau de la mémoire de traitement (Potvin, 1998). Pour Tardif (1992), l'élève doit prendre conscience des stratégies possibles et surtout, de leur efficacité et de leur économie pour mieux apprendre.

Le concept du conflit cognitif ne date pas d'hier et Piaget (1974) suggère qu'à mesure que les enfants apprennent davantage de leur environnement, plus ils s'adaptent et

plus il y a accommodation. De manière simplifiée, un apprenant assimile une expérience et ajuste sa structure de connaissances pour créer de nouveaux automatismes. Ainsi, l'élève comprend les informations et connaît leur importance. Cependant, certains élèves vont réagir différemment à une activité pédagogique qui incite un conflit cognitif. Par exemple, il se peut que le conflit cognitif ne se produise pas car l'élève n'est pas en mesure de faire la différence entre les concepts. Il arrive aussi qu'il ne comprenne tout simplement pas la situation. Une troisième possibilité est que l'élève ne construise pas les bons liens. Enfin, il y a l'élève qui subit une surcharge cognitive ce qui l'empêche de bien comprendre. Dans ce dernier cas, l'élève retourne très rapidement à ses anciennes conceptions.

Pour créer un conflit cognitif dans l'esprit des élèves, Piaget (1974) suggère de créer une activité où ils doivent faire des prédictions et des observations. Il faut que l'enseignant les déstabilise pour augmenter l'intérêt des élèves envers les concepts. Pour Harlen (2004), un déséquilibre cognitif est essentiel pour surpasser les PE. Néanmoins, d'autres auteurs préviennent qu'enseigner en fonction d'un changement conceptuel chez l'élève n'est pas toujours signe d'augmentation de l'intérêt envers les sciences (Çetin, Kaya et Geban, 2009). À l'opposé, d'autres auteurs affirment que l'intérêt envers la situation pédagogique est plus puissant pour favoriser un changement conceptuel que le conflit cognitif seul (Kang et Lee, 2012). D'une manière ou d'une autre, le résultat final est une réorganisation substantielle des conceptions des apprenants.

Selon Potvin (2011), il existe au moins six moyens d'induction du conflit cognitif : la démonstration et les expériences, les exemples et les contres exemples, les liens avec le quotidien des élèves, les analogies, les textes réfutationnels et les discussions guidées par l'enseignant. L'apprentissage est aidé par le conflit cognitif, mais d'autres facteurs tels que les croyances (valeurs) des élèves, leurs opinions des sciences ainsi que leurs attitudes en fonction de la science jouent aussi un rôle très important (Koumaras, Kariotoglou et Psillos, 1996). Enfin, un conflit cognitif d'une trop longue durée influence également son efficacité car certains élèves peuvent trouver l'exercice épuisant et il est facile et réconfortant de ramener les PE à la surface. En effet, laisser un élève trop longtemps en conflit cognitif lui fait perdre ses repères et il préfère retourner à ses PE car c'est beaucoup moins déstabilisant.

## 1.2 Quelques modèles théoriques

Plusieurs modèles d'enseignement visant à amener les élèves à surmonter par eux-mêmes les PE dans certaines conditions, sont proposés dans les écrits. Cinq modèles présentés chronologiquement seront discutés et ils visent tous le même but : créer un conflit cognitif dans l'esprit de l'apprenant. Un autre modèle est présenté à la fin et il vise directement l'enseignant et non l'élève comme les cinq premiers.

### *1.2.1 Modèle de Nussbaum et Novick*

La première stratégie est celle de Nussbaum et Novick (1982) qui concerne des notions de chimie. Ce modèle propose de provoquer des conflits cognitifs chez l'élève qui développe une contradiction dans son esprit. Selon ces auteurs, sans conflit cognitif, il est impossible de fragiliser les PE. Ils affirment que les PE doivent absolument être discréditées pour qu'une nouvelle conception prenne sa place. Ce modèle présente trois phases : 1) mettre en évidence les bonnes conceptions et les PE, 2) faire une démonstration d'un événement-anomalie qui est en contradiction avec les PE dans l'esprit de l'élève et 3) donner un maximum de soutien à l'élève. Ici, l'enseignant doit montrer une preuve scientifique à l'élève qui l'oblige à réfléchir sur ses croyances. En impressionnant, l'enseignant favorise considérablement la rétention des connaissances et des stratégies. Par contre, il faut que l'élève soit attentif au moment de la démonstration. Pour déjouer ce manque de concentration, l'enseignant peut bifurquer son attention sur autre chose qui n'est pas reliée directement aux concepts qui doivent être appris par l'élève. À la toute fin de l'activité, l'enseignant peut entamer une discussion avec l'élève en donnant des illustrations, des animations, des exemples et des explications.

La recherche de Nussbaum et Novick (1982) a servi de base pour enseigner à des élèves âgés de 11 à 13 ans des aspects de la structure des gaz (entre autres les notions de vide entre les particules et de mouvement des particules). En évaluant cette approche d'enseignement, les auteurs notent son succès dans la création d'un défi cognitif et d'une motivation pour apprendre. Par contre, ils reconnaissent que l'enseignement n'a pas entraîné le changement conceptuel total souhaité chez tous les élèves.

### 1.2.2 *Modèle de Posner*

Le deuxième modèle proposé est celui de Posner et *al.* (1982) concernant le principe d'Archimède. Ce modèle propose quatre étapes pour favoriser le changement conceptuel : 1) L'élève doit subir une insatisfaction quant à sa propre conception; 2) L'élève doit voir la conception scientifique proposée comme étant intelligible; 3) comme étant plausible et 4) comme étant féconde. L'idée qui sous-tend ce modèle est que, lorsque l'incertitude est instaurée chez l'élève, il est prêt à recevoir les conceptions scientifiques. Les trois dernières étapes favorisent l'accommodation de connaissances scientifiques dans l'esprit de l'élève tout en diminuant le réflexe de revenir à ses PE. Durant la deuxième étape, il est important que l'enseignant puisse nettement vulgariser les concepts en utilisant des définitions claires et des synonymes pour que cela puisse être minimalement intelligible. Aussi, l'enseignant doit utiliser des images ou des schémas. Par exemple, l'analogie peut être une stratégie très puissante pour que l'élève fasse des liens significatifs (Baser et Geban, 2007). Toutefois, l'enseignant doit faire attention, car l'analogie peut elle-même créer de nouveaux obstacles.

L'enseignant doit mettre en relief le nouveau modèle de connaissances pour que l'élève voie cela comme étant plus plausible que ses PE. Une démonstration devant la classe reste un bon moyen d'atteindre l'élève pour créer un conflit cognitif. En donnant des exemples concrets, l'enseignant montre à l'élève différentes situations en changeant le contexte des concepts. Comme il y a toujours des cas particuliers concernant les concepts à enseigner, il est important de ne pas les oublier, car l'élève a tendance à développer de nouvelles conceptions inattendues. Ces cas scientifiques particuliers sont montrés aux élèves comme étant fécondes. L'enseignant doit tenter de faire le tour des PE avant de passer à l'étape suivante. Tout comme le premier modèle, il est important que l'élève soit attentif au moment de la démonstration car sinon, il va toujours continuer à utiliser ses PE.

### 1.2.3 *Modèle de Hewson*

Le modèle de Hewson (1984) concerne l'évolution des espèces et se base sur le modèle de Posner sauf qu'il ne crée pas le conflit cognitif directement. Hewson(1984)

préfère passer tout de suite à la deuxième étape de Posner (1982), c'est-à-dire que les élèves doivent voir la conception scientifique proposée comme étant intelligible, plausible et féconde. De plus, Hewson (1984) fait la différence entre l'« échange conceptuel » et la « capture conceptuelle ». Pour lui, la « capture » serait moins fondamentale que l'« échange », c'est-à-dire que les élèves doivent, en plus de s'approprier les savoirs, s'approprier des stratégies métacognitives pour bien choisir les savoirs adéquats. Pour y arriver, le modèle de Hewson(1984) invite les enseignants à ne jamais perdre de vue la menace que sont les conceptions initiales. L'enseignant doit continuellement comparer les anciennes conceptions avec les nouvelles.

Au début, l'auteur suggère de commencer l'activité en discutant des conceptions et des PE avec le groupe. Ce modèle demande de toucher au plus grand nombre d'éléments formant les concepts effectifs et défectifs. Ce modèle semble efficace à empêcher certaines PE de refaire surface. Le fait qu'il connaisse ses PE, un élève devient plus apte à lever un drapeau (stratégies, métacognition) dans son esprit lorsque le concept en question doit être utilisé. Toutefois, si l'élève ne reconnaît pas le concept en jeu, il ne saura pas ce qu'il doit chercher. Pour l'aider à développer le réflexe de *levage* de drapeau, la répétition reste un excellent moyen pour aider la mémorisation. Le but de ce modèle est d'établir la crédibilité ou la non-crédibilité de chacune des conceptions. Le conflit cognitif est donc partiel dans l'esprit de l'élève. Un avantage d'utiliser ce modèle est qu'il est peu probable qu'il engendre une surcharge cognitive chez l'élève.

#### *1.2.4 Modèle de Giordan et DeVecchi*

Le quatrième modèle est celui de Giordan et DeVecchi (1987) qui concerne un concept abstrait : la condensation des gaz. Brièvement, ces auteurs proposent de faire une confrontation avec la classe à l'aide d'un remue-méninge et de créer un schéma conceptuel collectif. Au modèle de Hewson (1984), ces deux auteurs ajoutent l'importance des liens à l'intérieur de cette structure qui consolident et déterminent leur cohérence. En effet, Giordan et DeVecchi (1987) soutiennent que ce sont les liens qui existent entre les éléments de la compréhension qui sont les plus déterminants. À l'aide d'environnements didactiques susceptibles d'allumer des sites actifs mentaux, un enseignant peut perturber et

déstabiliser les élèves dans leur compréhension initiale et se servir de cela dans la construction de leurs savoirs. Pour ces auteurs, la participation active des élèves est essentielle à tout apprentissage.

Dans leur recherche, Giordan et DeVecchi (1987) ont travaillé sur la formation des nuages et des brouillards en posant des questions aux élèves et en écrivant au tableau toutes les idées, qu'elles soient bonnes ou mauvaises. Cette manière de faire permet à l'enseignant d'identifier les concepts susceptibles de jouer un rôle déclencheur dans le problème. Par la suite, l'enseignant choisit une sorte de « clé » didactique qui convient au problème rencontré. Cela permet de reconfigurer les liens pour augmenter la cohésion de la nouvelle structure. En somme, l'enseignant cache intentionnellement la bonne réponse à un problème et les élèves doivent répondre à un questionnaire. À la fin de l'activité, l'enseignant co-construit avec l'aide des élèves, un réseau de concepts dans le cahier de l'élève. Il est très intéressant pour l'enseignant de remarquer les divergences dans les réseaux des élèves pour mieux identifier des nouvelles PE persistantes. Par contre, ce modèle nécessite de bien identifier les sites susceptibles de déclencher des PE. Ce modèle est plus facile à utiliser par un enseignant expérimenté. Les cartes conceptuelles doivent être préalablement balisées par l'enseignant pour empêcher de créer une carte trop lourde ou trop complexe. Il est important de ne pas répéter des concepts synonymes, c'est-à-dire qu'il faut les rassembler. Un des avantages de ce modèle est que même si un élève ne fait de pas conflit cognitif, il peut très bien performer aux évaluations en comprenant et en étudiant la carte conceptuelle créée en classe. Il est préférable que l'enseignant reproduise la carte conceptuelle entièrement et la donne aux élèves absents ou en difficultés, car il est facile d'imaginer que certains élèves ont omis des détails importants.

#### *1.2.5 Modèle de Vosniadou*

Le cinquième modèle est celui de Vosniadou (1992) qui concerne la température et la chaleur. Selon cet auteur, il est important que l'enseignant aborde les conceptions initiales effectives et défectives en ressortant les raisons de la présence des PE dans l'esprit de l'élève. Parce que chez l'élève, le fait qu'il reconnaisse les cadres conceptuels, cela peut prévenir la construction de nouvelles conceptions erronées. Aussi, cela l'empêche de

retourner à ses anciennes habitudes : les PE. Par exemple, l'enseignant pose des questions générales et cherche à créer un désaccord dans le groupe. Ainsi, chaque élève devrait développer une contradiction dans sa tête et cela peut créer un doute solide dans son esprit. Dans l'incertitude, l'élève devient inconfortable et c'est ce sentiment d'inconfort qui est associé au conflit cognitif. Une fois que l'élève est en conflit avec lui-même, l'enseignant prépare une compétition fictive en laboratoire. Comme l'élève ne sait pas ce qu'il est vraiment supposé apprendre, il devient plus attentif à ce que l'enseignant fait et devient par le fait même, davantage convaincu par la démonstration de l'enseignant. À la fin de l'activité, il y a une discussion ouverte sur les raisons de la présence de ces conceptions erronées avec la classe. L'auteur suggère de préparer un piège cognitif pour que l'élève augmente ses chances de développer un conflit cognitif. Car, comme certains élèves n'ont pas eu un conflit cognitif significatif en début d'activité, il est possible de les impressionner avec un effet de surprise. Le fait que l'élève ne sait pas ce qui suit, le conflit cognitif serait plus significatif dans son esprit. D'un côté, certains auteurs sont convaincus que la majorité des élèves sont très sensibles à tout ce qui est dit pendant une discussion ouverte (Potvin, Mercier, Charland et Riopel, 2012). D'un autre côté, Gigerenzer et Todd (1999) croient qu'un enseignant ne devrait pas utiliser ce modèle, car l'élève va recevoir beaucoup trop d'informations qu'il en a réellement besoin et cela pourrait augmenter sa confusion. Un autre inconvénient de ce modèle est qu'il demande beaucoup de temps et d'énergie de la part de l'enseignant.

#### *1.2.6 Modèle de DiSessa pour aider l'enseignant*

Les cinq modèles présentés précédemment concernent principalement l'élève. Il existe une dernière stratégie qui concerne un autre acteur important: l'enseignant. DiSessa (2002) suggère de s'attaquer aux habitudes interprétatives, aussi appelées règles intuitives ou habitudes mentales automatiques ou ressource cognitive, qui existeraient en plus petit nombre que les conceptions scientifiques. Ici, ce ne sont pas les PE qui sont directement visées, mais bien les connaissances procédurales, c'est-à-dire comment utiliser les connaissances en développant chez les élèves une vigilance systématique (métacognition). Un exemple scientifique classique est qu'il est logique de croire qu'il fait plus chaud l'été car la planète Terre est plus proche du soleil. C'est ce qu'on appelle un obstacle didactique

car l'élève démontre une conviction erronée, fortement structurée qui semble est être vraie dans sa tête (Étienne et Lerouge, 1997). Mais les experts savent que ce n'est pas vrai et que l'explication de l'écart de température est plutôt due à l'axe d'inclinaison de la Terre par rapport à une perpendiculaire de sa révolution autour du soleil. Le fait de penser que plus on se rapproche d'une source de chaleur plus il fait chaud, est une habitude interprétative. En gros, ce ne sont pas les conceptions qui font défaut, mais bien leurs applications. C'est comme si les élèves construisaient des lois universelles temporaires jetables dans leurs esprits. Cette manière de penser est tout à fait normale, car le cerveau a tendance à classer les choses pour passer rapidement à autre chose et c'est également moins coûteux en énergie. En fin de compte, les habitudes interprétatives sont basées sur l'intuition et l'enseignant doit les connaître pour anticiper les réponses des apprenants.

Comme les conceptions passent toujours par au moins une habitude interprétative, la stratégie consiste à ce que l'enseignant analyse en profondeur les réponses des élèves pour prévoir les explications des élèves. Potvin (2011) complète le travail de DiSessa (2002) en dressant une liste de 13 familles d'habitudes interprétatives. Par exemple, dans le cas des saisons du paragraphe précédent, c'est une habitude interprétative classée comme une causalité proportionnelle, car plus notre main est proche de la source de chaleur, plus on ressent de l'énergie thermique. Ces familles servent à classer les PE et aident l'enseignant à reconnaître le niveau de PE qui n'a pas encore été surmonté dans l'esprit de l'élève. Cette classification des habitudes interprétatives peut sembler exigeante pour l'enseignant, mais il est important qu'il prenne du temps pour bien sonder les mécanismes qui se trouvent à l'origine des PE.

En ce qui concerne le principe d'Archimède et les 13 familles d'habitudes interprétatives (Potvin, 2011), trois familles s'y rattachent. Tout comme l'exemple du soleil, il y a l'habitude interprétative de la causalité proportionnelle en lien avec le principe d'Archimède car il y a relation de cause à effet. Comme un élève peut par exemple raisonner de la manière suivante : *plus* un objet est léger, *plus* il va flotter. Pourtant, l'élève n'a que partiellement raison, car un grain de sable est léger mais il coule quand même. On peut remarquer que dans son raisonnement, l'élève s'est basé sur des apparences trompeuses (lourd et léger) et qu'il n'a pas bien identifié la principale variable comme la



densité et la masse volumique. La deuxième famille est celle de la résistance qui est toujours couplée avec celle de la causalité proportionnelle; DiSessa (2002) suggère de toujours intégrer les deux familles ensemble. Dans notre cas, certains élèves voient la masse comme une résistance et que l'eau ne fait que résister à la pénétration du bateau. Aussi, certains élèves croient que plus un objet est volumineux, plus il va être ralenti par le fluide dans lequel il se trouve.

La troisième famille d'habitudes interprétatives est celle de l'équilibre où l'élève interprète ce concept comme étant équivalent à immobilité. Même si un objet est immobile à la surface de l'eau, il n'est pas en équilibre dans l'eau car la force gravitationnelle ( $F_g$ ) est plus petite que la force de pression de l'eau ( $F_p$ ). De même qu'il coule dans l'air car  $F_p$  est plus petite que  $F_g$ . Les connaissances de ces trois familles d'habitudes interprétatives peuvent permettre donc à l'enseignant de faire des interventions pédagogiques plus adaptées et plus économiques que d'expliquer toutes les PE une par une aux élèves.

## 2. LE PRINCIPE D'ARCHIMÈDE : TRAME CONCEPTUELLE ET OBSTACLES À L'APPRENTISSAGE

Avant de rappeler la trame conceptuelle de ce principe, nous vous présentons quelques grandes lignes de la vie du Grec Archimède de Syracuse, Sicile (Grande Grèce) qui naquit en l'an 287 avant J.-C. Durant sa jeunesse, il eut pour maître Euclide, à Alexandrie. En plus de son fameux principe, Archimède a également laissé des traces au niveau des mathématiques avec la précision du calcul de la valeur de  $\pi$  et de la statique des solides. Ce grand savant fut aussi un inventeur de renom avec la vis sans fin, la poulie mobile, les roues dentées et les leviers. D'ailleurs, il est l'auteur de la phrase fameuse: « *Donnez-moi un point d'appui et je soulèverai le Monde.* ». Cet homme était si passionné pour les sciences qu'il en oubliait, dit-on, le soin de boire et de manger, et ses domestiques étaient obligés de l'en faire souvenir, et presque de le forcer à satisfaire aux besoins essentiels (Rival, 1996). Pendant la deuxième guerre punique, lors de l'attaque de Syracuse par les Romains en 212 av. J.-C, Archimède consacra toute son attention à défendre sa ville à l'aide de construction de machines à lancer des flèches et des pierres et de construction de

miroirs ardents. Durant cette guerre, il fût tué par un soldat du général Marcellus, mais comme ce dernier voulait l'épargner, il lui fit des funérailles grandioses et fit dresser un tombeau décoré à la demande d'Archimède lui-même. Ce tombeau était en forme d'un cylindre renfermant une sphère et pour inscription, le rapport du solide contenant au solide contenu.

## 2.1 L'origine du principe d'Archimède

La densité relative des corps est relatée dans le neuvième ouvrage d'Archimède: *De corporibus fluitantibus*, des corps flottants, livre I, principalement dans les prépositions III à VII (Rival, 1996). Parmi les grandes expériences scientifiques, celle d'Archimède est la deuxième chronologiquement après l'expérience de la mesure de la circonférence de la Terre par Ératosthène.

Vitruve (90-20 av. J.-C) rapporte qu'à la demande du roi Hiéron II, Archimède (âgé alors de 22 ans seulement) devait prouver que la couronne du roi était entièrement composée en or, car Hiéron avait des doutes sur l'honnêteté d'un orfèvre. Occupé par cette affaire, Archimède va au bain et remarque que plus il s'enfonce dans la baignoire, plus il renverse de l'eau hors de la cuve. Lorsqu'il est totalement immergé, une quantité déterminée d'eau a été renversée. Ainsi, il découvre la solution du problème du roi et il sort des bains tout nu en criant « *Eurêka! Eurêka!* » - « J'ai trouvé! J'ai trouvé! » (Vitruve, 20 avant Jésus-Christ). L'eau qu'il a renversée correspond au poids du volume d'eau de son corps immergé : sa quantité est donc inversement proportionnelle à la densité de son corps. En fabriquant une couronne en or et une autre en argent, il pouvait démontrer que celle en or déplace moins d'eau que celle en argent, car l'or ( $\rho=19,42$  g/ml) est plus dense que l'argent ( $\rho=10,54$  g/ml) et que finalement, la fameuse couronne du roi était en fait un alliage de ces deux métaux. Cette expérience prouve qu'à masse équivalente, l'or déplace environ deux fois moins d'eau que l'argent et ceci a prouvé la culpabilité de l'orfèvre. Par contre, certains historiens ont des doutes sur la véracité de cette légende, car il aurait fallu des outils très précis et exacts pour mesurer une différence de cinq millilitres entre deux couronnes.

## 2.2 Au niveau de la conception du principe d'Archimède chez un élève

Si un élève énonce qu'un objet coule parce qu'il est plus lourd que l'eau, il ne démontre pas qu'il a bien compris, car on ne sait pas de quelle eau il parle. Est-ce le poids de l'eau totale ou uniquement celle déplacée par l'objet en question? La réponse est la suivante: pour qu'un objet coule, son poids doit être supérieur au poids de l'eau déplacé par ledit objet. Ce n'est donc pas le volume total de l'objet dont on doit tenir compte, mais bien de sa surface (aire) qui est en contact avec le fluide (l'eau ou l'air). Plus sa surface de contact est grande, plus il touche à l'eau, plus le volume d'eau déplacé sera grand et plus cela augmentera sa flottabilité. D'un autre côté, il est possible de d'aborder le principe d'Archimède en utilisant la masse volumique. Si la masse volumique d'un objet est plus petite que la masse volumique du fluide dans lequel il se trouve, il est donc moins dense que le fluide et il peut flotter dans ce fluide. La densité est un rapport de masses volumiques, c'est-à-dire que si la densité d'un objet est plus grande que celle d'un fluide dans lequel il se trouve, il descendra vers le sol dans l'air ou vers le fond dans l'eau. Cela peut s'avérer mélangeant pour un non-initié, car il ne faut pas tenir compte uniquement de la masse volumique de la matière qui est en contact avec le fluide car le métal de la coque du bateau est plus lourd que l'eau. Il faut aussi tenir compte de la densité des autres matières (comme l'air) qu'il contient. Si on remplace l'air par de l'eau, cela va considérablement augmenter la pesanteur de l'objet et par le fait même, la force gravitationnelle qui l'attire vers le bas pour le faire couler.

Pour que les élèves réalisent que leurs conceptions mentales ne sont pas toutes adéquates, il est possible d'induire un conflit cognitif dans leurs esprits comme expliqué précédemment. Le conflit cognitif est déclenché par un phénomène visible concret devant la classe à l'aide d'un aquarium. De cette manière, les élèves n'ont pas d'autre choix que de croire ce qu'ils voient et de réaliser que les faits scientifiques contredisent leurs idées initiales. Par exemple, un petit objet coule au fond car il ne déplace pas assez d'eau par rapport à la masse du même objet; ou la masse de l'eau déplacée par l'objet est trop petite pour compenser la force du poids de l'objet en question.

À notre avis, il n'y a que quatre situations d'objets flottants qui ne sont pas expliquées par le principe d'Archimède et ces situations peuvent induire des erreurs d'apprentissages chez les élèves. La première, l'une des plus difficiles à expliquer aux élèves, est le cosmonaute qui flotte dans son vaisseau spatial. Premièrement, s'il est en orbite, il peut flotter car il tombe à la même vitesse que le vaisseau dans lequel il se trouve. Comme le vaisseau possède une vitesse et qu'il est attiré par la  $F_g$  de la Terre, il peut se positionner dans une direction presque perpendiculaire à la surface de la Terre. Ainsi, le vaisseau spatial tombe continuellement et se rapproche de la Terre très lentement. Par contre, si le vaisseau est dans le vide sidéral loin de tous astres, le cosmonaute flotte car  $F_g$  est absent et par le fait même, l'absence de la  $F_g$  fait disparaître la  $F_p$ . En effet,  $F_p$  ne peut exister que s'il y a une  $F_g$  présente pour écraser le fluide pour qu'il possède une tension de surface. La  $F_p$  est expliquée par la masse du fluide déplacée qui fait une pression sur l'objet pour qu'il monte vers le haut. S'il n'y a pas de gravité assez puissante pour retenir tout le fluide ensemble en gardant une pression sur lui-même, le fluide ne peut faire pression sur l'objet en lui donnant une force verticale vers le haut.

La deuxième situation qui peut causer des erreurs chez les élèves est une fusée qui se fait propulser par des explosions successives. La fusée peut flotter car le feu est poussé vers le sol. Cette phrase n'explique pas bien les forces impliquées, mais peu de PE ont été recensées sur le sujet. La troisième situation est l'air en mouvement (ou vent) qui explique pourquoi une feuille de papier journal ou un cerf-volant peut s'envoler et aussi, pourquoi un avion et un hélicoptère peuvent voler. Ces cas sont expliqués à l'aide d'un autre principe, celui de Bernoulli. La quatrième situation est celle d'un nuage qui flotte dans le ciel. Cette flottabilité n'est pas expliquée directement par le principe d'Archimède, mais plutôt par un mouvement de convection d'air chaud qui monte. En somme, le sol est réchauffé par le soleil qui réchauffe l'air se trouvant près du sol et cette quantité d'air devient moins lourde car son volume augmente. Comme l'air chaud est moins dense que l'air ambiant, la pression de l'air ambiant fait monter cet air plus chaud (principe d'Archimède) qui entraîne avec lui des molécules d'eau. Ainsi, ce vent thermique pousse les nuages composés d'eau sous une forme gazeuse, liquide et parfois solide, vers le ciel. Les molécules d'eau condensent à une certaine hauteur d'où la couleur blanchâtre. De plus,

la hauteur des nuages (plafond nuageux) dépend de la température de l'air ambiant et de la pression atmosphérique.

### **2.3 Au niveau du changement conceptuel**

Il existe plusieurs stratégies qui peuvent induire un conflit cognitif mais c'est celle de Posner et *al.* (1982) qui a été retenue, c'est-à-dire celle de l'incertitude créée dans l'esprit des élèves des groupes expérimentaux. L'efficacité pédagogique d'un conflit cognitif dépend de plusieurs facteurs comme les concepts à enseigner, le temps disponible et des contraintes techniques. Aussi, il faut aussi que l'élément déclencheur soit assez spectaculaire et significatif pour que les élèves développent des incertitudes dans leurs esprits. Autrement dit, il faut que l'image soit assez forte pour marquer les élèves.

En créant par eux-mêmes de l'incertitude dans leurs esprits, cela force les élèves à emprunter de nouveaux itinéraires cognitifs. L'élément déclencheur est réalisé pendant les démonstrations expérimentales faites par l'enseignant en avant de la classe à l'aide d'un aquarium et de trois manipulations. Pendant les expériences, les élèves doivent compléter un tableau en expliquant leurs raisonnements par écrit, car comme les élèves sont concentrés sur la tâche, cela augmente les chances d'engendrer un conflit cognitif dans leurs esprits. Les élèves prennent en note leurs idées en tentant d'expliquer les phénomènes observés. Ainsi, l'enseignant peut recenser les bonnes et les mauvaises préconceptions des élèves.

Selon l'équipe de Posner (1982), si un élève participe à ce type d'activité pédagogique, il devrait développer un conflit cognitif. Cela augmentera l'intégration des connaissances déclaratives et procédurales dans l'esprit de cet élève. Si l'enseignant prend le temps de se rendre jusqu'aux idées fécondes avec la classe, les élèves peuvent même retenir des connaissances de type conditionnelle. Pour vérifier le taux des connaissances adéquates chez les élèves sur le principe d'Archimède, il faut comparer chacun des groupes d'élèves à deux moments avec le même questionnaire. De cette manière, il est possible de voir si un groupe a effectivement mieux compris grâce au conflit cognitif. Selon les résultats de l'équipe de Posner, un groupe encadré pédagogiquement pour développer un

conflit cognitif devrait mieux performer qu'un autre groupe qui n'a reçu que les connaissances de manières magistrales. Ainsi, en regardant l'écart de performance lors de la deuxième passation du même questionnaire chez les deux types de groupe, il y sera possible de détecter des tendances.

### 3. UNE SÉQUENCE D'ENSEIGNEMENT DU PRINCIPE D'ARCHIMÈDE FONDÉE SUR LA PROVOCATION D'UN CONFLIT COGNITIF CHEZ L'ÉLÈVE

Parmi les cinq modèles théoriques présentés précédemment dans les points 1.2.1 à 1.2.5, c'est celui de Posner et *al.* (1982) qui est utilisé dans cet essai car il a été repris par plusieurs autres chercheurs et c'est un modèle reconnu. Ce modèle est composé de quatre étapes, présentées plus haut, pour favoriser le changement conceptuel dans l'esprit des élèves, c'est-à-dire l'insatisfaction, l'intelligibilité, la plausibilité et la fécondité (voir 1.2.2).

Spécifiquement sur le principe d'Archimède, la première étape concernant l'insatisfaction est créée par l'enseignant qui fait des manipulations en démonstration devant la classe à l'aide d'un aquarium. Les élèves doivent subir une insatisfaction quant à leurs propres conceptions. Dans notre cas, les élèves sont confrontés aux définitions des mots qu'ils connaissent en lien avec le principe d'Archimède. Ils réalisent qu'un objet lourd ne coule pas automatiquement dans le fond de l'aquarium. Idéalement, les élèves vont se poser la question suivante : si la flottaison ne dépend pas uniquement du poids de l'objet, alors cela dépend de quoi d'autre? Ils réalisent qu'ils possèdent des PE et qu'ils se trompent. Cela développe chez eux une certaine incertitude. Les élèves sont mal à l'aise devant l'inconnu et c'est pour cela que le conflit cognitif peut provoquer un sentiment d'insatisfaction chez les élèves.

L'enseignant ne doit pas laisser les élèves dans cet état car ils n'ont pas encore compris le principe d'Archimède. Les trois étapes suivantes favorisent l'accommodation de connaissances scientifiques dans l'esprit des élèves tout en diminuant le réflexe de revenir à leurs PE. La deuxième étape débute rapidement et consiste à situer les élèves pour qu'ils

puissent voir que les conceptions scientifiques proposées par l'enseignant sont intelligibles. Durant cette deuxième étape, il est important que l'enseignant puisse nettement vulgariser les concepts en utilisant des définitions claires et des synonymes pour que cela puisse être intelligible. Plusieurs mots ou concepts sont discutés en classe entre les élèves et l'enseignant. L'enseignant répond aux questions des élèves et écrit au tableau les mots problématiques, c'est-à-dire les mots qui risquent d'être mal définis par les élèves comme : lourd, léger, masse, volume, masse volumique et densité. Ensuite, l'enseignant doit démontrer aux élèves que ces nouvelles conceptions servent à expliquer le principe d'Archimède en étant le plus plausible que possible. Le principe d'Archimède s'applique autant dans l'eau que dans l'air. L'enseignant doit convaincre les élèves qu'il n'y a que deux forces responsables de la flottaison d'un objet, c'est-à-dire que la  $F_g$  pointe toujours vers le bas et elle dépend de la masse de l'objet. La  $F_p$  pointe plutôt vers le haut et dépend de la masse du fluide déplacé par l'objet. Parfois, il arrive que les nouvelles conceptions acquises puissent reconforter certains élèves. Enfin, la dernière étape de l'équipe de Posner est celle de la fécondité où les élèves se rendent compte que les nouvelles conceptions peuvent expliquer la majorité des situations dans lesquelles un objet flotte. Ici, l'enseignant discute principalement de deux objets technologiques, c'est-à-dire le sous-marin et la montgolfière.

#### 4. LES OBJECTIFS SPÉCIFIQUES DE RECHERCHE

Cette étude sur le principe d'Archimède vise à dresser un parallèle entre deux approches pédagogiques en examinant les effets sur la performance des élèves. Dans les faits, les élèves sont soumis à un pré-test et à un post-test et entre les deux tests, il y a utilisation de l'une des deux méthodes d'enseignement : la confrontation des conceptions scientifiques à enseigner de manière magistrale ou celle de l'incertitude avec la stratégie pédagogique du conflit cognitif sur le groupe expérimental. Une analyse statistique a été retenue pour valider si la méthode du conflit cognitif augmente davantage les apprentissages à long terme chez les élèves du groupe expérimental comparativement aux élèves des groupes témoins.

## TROISIÈME CHAPITRE – MÉTHODOLOGIE

### 1. LA MÉTHODOLOGIE

Ce projet de recherche concerne les PE dans l'enseignement des sciences. Le type d'essai est une étude comparative en éducation, plus précisément en didactique des sciences. Parmi les douze devis méthodologiques de Paillé, cet essai est de type recherche-expérimentation car une activité d'apprentissage sera expérimentée en classe. Cette recherche-expérimentation consiste en une mise à l'essai d'une stratégie pédagogique sur la moitié des groupes d'ATS de secondaire quatre. Paillé (2007) propose huit étapes :

- 1- choix des méthodes de collecte des données de l'aspect recherche
- 2- préparation des outils conceptuels et techniques
- 3- mise en place des conditions de l'expérimentation
- 4- expérimentation et collecte des données de la recherche
- 5- Répétition de 3 et 4 si prévu
- 6- analyse des données de la recherche-expérimentation
- 7- mise en forme de la description des résultats
- 8- critique de l'expérimentation et recommandations

Cet essai vise à dresser un parallèle entre deux approches pédagogiques en examinant leurs effets sur la performance des élèves. Tous les élèves présents seront soumis à un pré-test et à un post-test et entre les deux tests, il y a utilisation de l'une des deux méthodes par l'enseignant: la confrontation (enseignement magistral) sur le groupe témoin ou l'incertitude (conflit cognitif) sur le groupe expérimental. Une analyse statistique à l'aide de moyennes et d'écart-types sera faite pour valider les résultats. Les paragraphes suivants portent sur les choix des méthodes, des variables et des instruments de mesure. Dans l'ordre, il y a le qui, le où, le quand, le quoi, le pourquoi et le comment (Karsenti et Savoie-Zajc, 2000). Certains concepts peuvent se retrouver dans plus d'une section.



## 1.1 Le qui

Le qui est la population à étudier. Les sujets de recherche sont des étudiants de deuxième année de deuxième cycle du secondaire du cours d'applications technologiques et scientifiques (ATS). Ces élèves sont particuliers car ils sont majoritairement des raccrocheurs âgés de 16 à 20 ans. Certains élèves n'ont qu'un seul cours alors que d'autres en ont quatre différents. Il y en a même qui sont au cégep. Une journée typique du cours ATS à l'école Amos est composée de trois heures consécutives séparées de pauses de 10 minutes. L'horaire est de neuf heures par semaine car le cours est intensif et ne dure que quatre mois et demi. Ainsi, comme il y a deux années dans une année à l'école Amos, un enseignant-chercheur peut étudier directement ses quatre groupes pour une recherche en science de l'éducation. En ce qui concerne l'éthique, dès les premiers jours d'enseignement, l'enseignant explique aux élèves qu'il y a une étude sur eux. L'enseignant doit peu en parler avec eux pour ne pas les influencer en les stressant davantage. Tous les résultats resteront anonymes, car les règles de l'anonymat et de la confidentialité s'appliquent non seulement *pendant* la recherche, mais *aussi à l'extérieur et par la suite* (Gaudreau, 2011). Les documents écrits sont conservés au domicile du chercheur.

À l'école Amos, il n'y a pas de différence notable entre les groupes du matin et les groupes de l'après-midi dans le cours ATS. Il est important de le savoir, car le groupe du matin est le groupe témoin qui sera confronté avec les concepts sur le principe d'Archimède. En après-midi, c'est plutôt la stratégie de l'incertitude qui est utilisée sur le groupe expérimental. Les données (Annexe 1) proviennent d'un statisticien de la Commission Scolaire de la Pointe de L'île (CSPI) qui a recherché les pourcentages de passation des élèves du cours ATS de l'école Amos depuis juin 2012. Avant cette date, les données n'étaient pas accessibles car les examens du MELS n'étaient pas encore à sanctions et les données brutes n'ont pas été traitées. Avant le cours d'ATS de la réforme, c'est-à-dire avant juin 2008, il y avait les cours de sciences physiques 416 et 436, mais les données ne sont plus disponibles.

Plusieurs moyennes différentes peuvent être examinées dans les données statistiques, mais c'est celle du pourcentage de réussite avec une note-école modérée qui a

été choisie (voir annexe 1). En effet, nous croyons que c'est ce résultat qui représente le mieux le taux de réussite d'un groupe. Ainsi, en connaissant le temps de la journée du cours, il est possible de voir si un des deux groupes est toujours plus performant que l'autre. On remarque qu'il n'y a pas de tendance observable entre les taux de réussite des groupes de l'avant-midi et de l'après-midi sauf pour un seul groupe très problématique de l'hiver 2012: en février, au début du cours, il y avait 38 élèves sur la liste. À la fin mai, il n'en restait que 23 élèves car l'ambiance était désastreuse en raison de deux élèves possédant de très gros troubles de comportement. Heureusement pour l'enseignant, ces deux derniers ont réussi le cours.

## **1.2 Le où**

Le où est le milieu d'observation. L'école secondaire Amos de la CSPI est située à Montréal-Nord et la population de l'école Amos présente plusieurs des caractéristiques liées au risque élevé d'exclusion. Ces élèves éprouvent toutes sortes de difficultés mais le principal reste qu'ils sont issus d'un milieu socioéconomique défavorisé. Afin de saisir l'ampleur de la situation, un document publié par la table des partenaires pour la persévérance scolaire à Montréal (2004), indique que 32,1 % des élèves qui fréquentent l'école Amos vivent dans une famille monoparentale, 30 % des élèves sont nés à l'extérieur du Québec et 23,4 % des élèves ne parlent pas le français (langue d'enseignement) à la maison. Aussi, 51,5 % des élèves sortants ont un diplôme ou une qualification, alors que 48,5 % quittent l'école sans diplôme ni qualification. Les groupes-classes sont très hétérogènes car dans un groupe typique, environ 80 % sont des raccrocheurs, 5 % sont des élèves en difficultés, 10 % sont des immigrants récents et environ 5 % sont des élèves forts qui viennent chercher un préalable demandé par le cégep. Ainsi, les résultats de cette recherche ne pourront être généralisés à l'ensemble des écoles secondaires du Québec. Une autre raison qui pourrait expliquer le fossé entre les deux types d'école est le fait que les élèves raccrocheurs sont plus âgés que les autres élèves « normaux ». Pourtant, cela devrait être un atout car leurs développements mentaux devraient être plus avancés que les élèves de 16 ans. Par contre, il semble que plus une personne est avancée dans son éducation, plus certaines PE sont stables, puissantes et bien ancrées. En effet, un chercheur affirme que la

plupart des réponses erronées sur la mécanique sont données avec un haut degré de confiance, et qui augmente avec l'âge des étudiants (Gil-Perez et Carrascosa, 1990).

### **1.3 Le quand**

Le quand est la période de temps concernée par l'expérimentation. L'observation d'un groupe se fera sur une période d'environ un mois afin de vérifier la mémoire sur le long terme. L'étude sera faite sur deux groupes par semestre et cette étude s'échelonne de février 2014 à octobre 2014. L'activité pédagogique uniquement faite sur le groupe expérimental dure de 15 à 20 minutes. De même que le pré-test et le post-test ne prennent que 15 minutes à chaque fois.

### **1.4 Le quoi**

Le quoi est ce qu'il faut observer. Plusieurs domaines scientifiques présentent des PE mais cet essai porte spécifiquement sur les concepts se rapportant au principe d'Archimède. L'observation (indicateurs) se fait sur l'augmentation de performance lors du post-test portant sur la compréhension du principe d'Archimède en observant une différence de points de pourcentage. Si cette différence est plus élevée chez le groupe expérimental, il est possible d'affirmer que l'utilisation d'un conflit cognitif pour enseigner efficacement le principe d'Archimède est plus efficace que de l'enseigner de manière traditionnelle. Ainsi, la variable indépendante est l'activité de l'incertitude car elle est la cause. Pour ce qui est de la variable dépendante, elle consiste à observer l'augmentation de la performance en calculant la différence des moyennes entre le pré-test et le post-test. Cette variation peut être une conséquence de l'activité pédagogique choisie par l'enseignant.

### **1.5 Le pourquoi**

Le pourquoi est ce qui est recherché comme information. La pierre angulaire de cette recherche en éducation est l'activité pédagogique utilisant l'incertitude qui est uniquement faite avec le groupe expérimental de l'après-midi. En résumé, cette activité de

15 minutes est une démonstration suivie d'explications et d'une discussion sur des conceptions primitives en lien avec le principe d'Archimède. Ici, pour induire un conflit cognitif chez les élèves, le modèle de Posner et al. (1982) est utilisé par l'enseignant où ce dernier présente trois démonstrations devant la classe. Par la suite, il y a une discussion de groupe sur la terminologie des concepts reliés au principe d'Archimède comme la lourdeur, la légèreté, la masse volumique et la densité. Ensuite, il présente au tableau le fonctionnement de deux véhicules qui peuvent flotter : le sous-marin qui flotte à l'aide de ses ballasts et la montgolfière qui flotte à l'aide d'un chalumeau allumé et d'une trappe au sommet de la montgolfière contrôlée à l'aide d'une corde.

Avant de réaliser l'activité sur les conceptions primitives en lien avec le principe d'Archimède, les élèves doivent nécessairement avoir pris connaissance des concepts concernant la masse, le volume et la masse volumique dans un cours antérieur. Lors du grand jour, au début du cours, l'enseignant doit suivre des étapes précises pour valider cette recherche en diminuant l'influence de l'enseignant. De manière magistrale, il commence par l'historique d'Archimède pendant quelques minutes. Après, il fait une démonstration avec une balance, un bécher rempli d'eau et une balle de ping-pong. En parlant de la force de l'eau qui « supporte » la masse de la balle, il dessine au tableau les forces impliquées et les formules utilisées pour calculer  $F_g$  et  $F_p$ . C'est ici que s'arrête l'activité pour le groupe témoin. Comme le groupe témoin ne fait pas l'activité sur les conceptions primitives, l'enseignant passe directement à des exercices sur le principe d'Archimède pendant 15 minutes.

Au début de l'activité sur les conceptions primitives en lien avec le principe d'Archimède sur le groupe expérimental, l'enseignant fait comprendre aux élèves l'importance de s'impliquer dans l'activité car ils seront notés (même si ce n'est pas toujours vrai!). De plus, il ne doit pas faire référence au pré-test (expliqué dans la prochaine section) que les élèves ont répondu il y a quelques jours. En somme, les démonstrations consistent à plonger différents objets dans un aquarium et de les comparer. Pour chaque objet, l'enseignant demande constamment aux élèves de faire des prédictions, de les noter et de donner une courte explication sur l'élimination des autres possibilités (tableau 1).

**Tableau 1**  
**Activité didactique en lien avec le principe d'Archimède**

Tâche de l'élève sur le principe d'Archimède

Nom de l'élève : \_\_\_\_\_

Expériences	Objets : Place un x		Explications (/10)
	Flotte	coule	
1) Une canette	<b>Cola</b>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	<b>Diet</b>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2) Des pâtes	<b>Boule</b>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	<b>Aplatie</b>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3) Des fruits	<b>Raisin</b>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	<b>Melon</b>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Il est important de laisser un laps de temps entre chaque objet. La première démonstration consiste à comparer deux objets de volumes semblables, mais avec des masses différentes. L'enseignant submerge les deux objets et les élèves constatent que l'objet le plus lourd coule (cola) et que l'objet léger flotte (cola-diet) même si les deux ont le même volume. Le cola-diet a une masse volumique plus petite que celle de l'eau de l'aquarium alors que le cola a une masse volumique plus grande que celle de l'eau et il coule. La deuxième démonstration, il faut se servir de deux boules de pâte à modeler de la même masse. Avant de les déposer à la surface, l'enseignant aplatit une des boules pour lui donner une forme de coque. Cette dernière flotte car elle déplace un volume d'eau plus important que celle en forme de boule. Jusqu'ici, les élèves ont pris confiance dans leurs conceptions mais il est possible que certains élèves soient déjà en conflit cognitif. Enfin, l'anomalie consiste à plonger un melon et un raisin dans l'aquarium. Même si le melon est plus lourd que le raisin, il flotte alors que le petit raisin coule. C'est principalement cette anomalie qui risque de créer de l'insatisfaction dans l'esprit des élèves.

Les deux dernières démonstrations permettent de redéfinir les concepts en lien avec le principe d'Archimède. Après les démonstrations, l'enseignant anime une discussion en faisant des liens avec la masse, le volume, la masse volumique et la densité. Par exemple, un objet lourd ne coule pas nécessairement, car cela dépend de sa forme et par le fait même, de la quantité de fluide qu'il déplace. Les fonctionnements du sous-marin et de la montgolfière sont aussi discutés en groupe.

## **1.6 Le comment**

Enfin, le comment est le choix des outils pour recueillir les données. Le pré-test et le post-test, qui sont en fait le même test, consistent en un questionnaire à court développement. Les traces laissées par les élèves sont des écrits « expositifs » car ils sont utilisés pour exposer et communiquer les connaissances acquises (Durand et Blais, 2003). La plupart des questions proviennent de différents articles scientifiques. Ces questions font toutes référence au principe d'Archimède, c'est-à-dire que les réponses doivent faire référence directement à la compréhension du principe d'Archimède.

À l'aide de l'article de Quivy et Campenhoudt (2006), cette recherche en science de l'éducation a été catégorisée et en voici les grandes lignes. La variable indépendante de ma recherche est le conflit cognitif et la valeur dépendante est l'augmentation de la performance des élèves en calculant la différence des moyennes entre le pré-test et le post-test. En somme, c'est en analysant les points de pourcentage qu'il sera possible de déceler une tendance positive ou négative. L'évènement singulier est le conflit cognitif sur le groupe expérimental. L'instrument de mesure est le pré/post-test et il est de type observation indirecte car l'évaluateur observe les écrits de l'élève (Annexe B). Comme on ne peut voir directement les apprentissages des concepts, on ne voit que les écrits des élèves qui sont subjectifs. Le questionnaire pré/post-test est d'administration directe car les élèves le remplissent par eux-mêmes. Le pré/post-test est une mesure objective car l'élève n'émet pas d'opinion mais il étale plutôt ses connaissances.

Pour évaluer la qualité des réponses des élèves aux pré/post-tests, une grille d'évaluation a été développée à partir d'une grille de correction d'une question à court développement de l'examen de fin d'études secondaires du MELS de janvier 2015 (Gouvernement du Québec, 2015). En effet, dans le guide de correction de l'épreuve écrite cours ATS, une grille de correction est fournie pour que les correcteurs évaluent de la même manière. La question numéro 24 porte sur le principe d'Archimède et elle est notée sur un total de quatre points :

- |          |   |
|----------|---|
| 4 points | - Justification appropriée qui tient compte du poids, du volume et du principe d'Archimède. |
| 3 points | - Justification partiellement appropriée qui s'appuie sur le principe d'Archimède.          |
| 2 points | - Justification partiellement appropriée  |
| 1 point  | - Justification partiellement développée  |
| 0 point  | - Justification inappropriée  |

Notre type de recherche utilise le modèle quasi expérimental, c'est-à-dire que l'échantillonnage des sujets n'est pas fait au hasard dans une population donnée et le hasard ne détermine pas quels participants seront soumis aux épreuves. De plus, il y a une implication d'un groupe-contrôle et le groupe-expérimental et le groupe-contrôle ne sont pas équivalents car chaque groupe est différent (Martella, Nelson et Marchand-Martella, 1999). L'analyse statistique est faite en calculant les moyennes et les écarts-types pour corréler les résultats. La moyenne sera calculée pour chaque groupe. Les données ont été transcrites dans un document Excel pour faciliter l'extraction pour les analyser. Les résultats seront présentés sous forme de pourcentage avec les écarts-types. Par exemple, si le coefficient de corrélation entre les élèves témoins et les élèves expérimentés est statistiquement valable, il est possible d'affirmer que l'activité pédagogique utilisant le doute (incertitude) est un bon moyen de surpasser les PE en évitant d'utiliser certaines mauvaises informations mémorielles.

## QUATRIÈME CHAPITRE – LES RÉSULTATS

### 1. ANALYSE QUANTITATIVE DES RÉSULTATS

Dans ce chapitre, les résultats des élèves ont été analysés à l'aide d'une grille de correction commune au pré-test et au post-test notée sur 25 points et transformée en pourcentage en multipliant par quatre. Les premiers résultats présentés seront les tendances observables chez les groupes témoins et les groupes expérimentaux en examinant l'augmentation de performance aux pré/post-tests. Ensuite, suivront les augmentations de performance aux huit questions du pré/post-test prises individuellement dans l'ordre de présentation du pré/post-tests.

#### 1.1 Performance des élèves aux pré/post-tests : aperçu global

Dans cette expérience, le pré/post-test (annexe B) a été mis à l'essai sur quatre groupes d'ATS dans l'ordre: Groupe de contrôle-1 (GC-1) et Groupe expérimental-1 (GE-1), GC-2 et GE-2 dont les résultats bruts par groupes sont présentés dans l'annexe C. D'emblée, notons qu'il y a eu des problèmes avec le groupe GE-1 et même si les résultats de ce groupe ont été compilés, ils ne seront pas utilisés lors de la comparaison avec les groupes témoins. Les raisons seront discutées dans le prochain chapitre.

Comme le montre le tableau 2, en moyenne, les élèves du groupe GC-1 ont une note de 22 % au pré-test et un mois plus tard, ces élèves ont augmenté leurs performances de près de 18 % pour obtenir 40 % lors du post-test (tableau 2). Cette augmentation de 18 % chez ce groupe témoin avec la stratégie de la confrontation démontre que l'enseignement du principe d'Archimède de manière magistrale est pédagogiquement valable car il y a une augmentation de performance. Quant au groupe GE-1 défectif, les élèves ont eu en moyenne 17 % au pré-test comparativement à une note de 26 % au post-test. Cette augmentation de près de 9 % est faible si on la compare avec le 18 % du groupe GC-1. Par contre, ce 9 % d'augmentation n'est pas la plus faible augmentation parmi les quatre groupes d'ATS testés.



**Tableau 2**  
**Résultats des pré/post-tests de groupes d'ATS**

	<b>Résultats des pré/post-test</b>							
Semestre	<b>Hiver 2014</b>				<b>Automne 2014</b>			
Groupe	GC-1	GC-1	GE-1	GE-1	GC-2	GC-2	GE-2	GE-2
Type de test	Pré	Post	Pré	Post	Pré	Post	Pré	Post
Nombre d'élèves	27	21	27	24	28	25	26	26
Moyenne de la note	21,90%	40,19%	16,59%	25,83%	36,14%	44,96%	18,92%	47,85%
Différence	18,3% ↑		9,24% ↑		8,82% ↑		28,93% ↑	
Écart-types	21,30%	16,78%	19,87%	17,39%	22,60%	16,82%	21,33%	20,07%
Moyenne écart-type des pré-tests				21,28%				
Moyenne écart-type post-test				17,77%				
Moyenne écart-type global				19,53%				

Note: GC = témoin; GE= conceptions primitives en lien avec le principe d'Archimède

Les mêmes essais pédagogiques ont été reproduits sur les groupes GC-2 et GE-2 à l'automne 2014. Dans le tableau 2, on peut voir que le GC-2 a augmenté sa performance de près de 9 % en passant de 36 % au pré-test à 45 % lors du post-test. Ce 9 % d'augmentation semble faible si on le compare avec les résultats du GC-1, mais le GC-2 est le groupe qui démontre la meilleure performance lors du pré-test. Les raisons de cette valeur qui semble importante (36 %) au pré-test seront discutées plus loin. Finalement, les élèves du GE-2 ont bien réussi au post-test, car de 19 % au pré-test, ils ont passé à près de 48 % au post-test avec une augmentation de performance de près de 29 %.

En somme, si l'on fait la moyenne d'augmentation de performance des groupes GC-1 (18 %) et GC-2 (9 %), on peut donc supposer que les élèves d'un groupe témoin (GC) de l'école Amos ont généralement une augmentation de performance de 14 % entre les deux

tests. Comme les élèves du groupe GE-2 ont démontré une augmentation de performance plus grande avec 29 %, il est possible de déduire que l'utilisation de la stratégie pédagogique du conflit cognitif est environ 15 % plus efficace au niveau des apprentissages sur le long terme que l'utilisation de la stratégie de l'enseignement traditionnelle en lien avec des concepts scientifiques sur le principe d'Archimède.

Par ailleurs, considérant que la valeur des moyennes des écarts-types globaux (d'environ 20 %) dépasse la valeur moyenne de l'augmentation des performances des élèves (15%), l'efficacité de la provocation d'un conflit cognitif n'a donc pas un pouvoir statistique (une association constatée mais non statistiquement significative). En effet, l'efficacité de l'activité sur les groupes expérimentaux est cachée par une trop grande valeur d'écarts-types. on peut également remarquer qu'en bas du tableau 2, il y a une légère différence de 4 % entre l'écart-type moyen des pré-tests comparativement avec l'écart-type moyen des post-tests.

## **1.2 Résultats du pré/postest par types de questions**

### *1.2.1 Question 1: Le ballon blanc et le ballon noir*

Cette première question du pré/post-test est divisée en deux parties : 1a et 1b (annexe 2). À partir de cette question, l'élève doit expliquer pourquoi le ballon blanc monte alors que le ballon noir descend. Comme l'une des réponses d'explication peut compléter l'autre, un élève pourra avoir tous les points s'il répond bien à l'une ou à l'autre des parties. Cette question vaut quatre points sur un total de 25. En multipliant la valeur de la réponse de cette question des élèves par 25, on obtient un pourcentage qui nous permet d'être en mesure de comparer les résultats plus facilement. Comme il se peut qu'un élève ait été absent au pré-test ou au post-test, l'élève numéro 1 du pré-test n'est pas nécessairement le même élève numéro 1 au post-test.

Si l'on tient compte de la moyenne d'augmentation de performance pour les deux groupes témoins GC-1 et GC-2 (18 % et 9 %) pour toutes les questions du pré/post-test (tableau 2), il est possible de comparer cette moyenne de 14 % avec l'augmentation de

performance pour chaque question prise individuellement. De cette manière, il est possible de cibler des questions où le conflit cognitif semble être plus efficace, ou moins efficace. Le tableau 3 présente les résultats en pourcentage de réussite lors des pré/post-test ainsi que la différence entre les deux tests pour trois groupes testés. Rappelons que les données brutes de chaque question pour chaque élève sont présentées dans l'annexe D et qu'un résumé par groupe est présenté dans l'annexe E. Parmi les huit questions du post-test, la question des ballons blancs et noirs démontre le meilleur résultat avec une performance de 64 % dans le groupe Témoin-2. D'un autre côté, si l'on considère uniquement l'augmentation de performance, cette question est environ 11 % mieux réussie par les élèves qui ont eu la stratégie pédagogique du conflit cognitif. Comme cette valeur de 11 % avoisine de la moyenne d'augmentation de 14 %, elle ne se démarque pas de la moyenne des autres questions.

**Tableau 3**  
**Différence de performance de la question 1**

<b>Question du ballon blanc rempli d'un gaz léger</b>	<b>GC-1 Pré-test</b>	<b>GC-1 Post-test</b>	<b>GC-1 Différence</b>	<b>GC-2 Pré-test</b>	<b>GC-2 Post-test</b>	<b>GC-2 Différence</b>	<b>GC-1 et TGC-2 Différence Moyenne (<math>\Delta GC</math>)</b>	<b>GE-2 Pré-test</b>	<b>GE-2 Post-test</b>	<b>GE-2 Différence (<math>\Delta ep</math>)</b>	<b>% d'augmentation de performance(<math>\Delta GE</math>)-( <math>\Delta GC</math>)</b>
<b>Moyenne %</b>	33	45	12	46	64	18	15	33	59	26	11

En omettant les réponses absentes dans les pré/post-test, quelques élèves ont eu une note de zéro à cette question en utilisant un des mots inappropriés comme: atome, magnétique et matière positive. D'autres élèves ont réussi à décrocher un point avec

certaines termes spécifiques: absence hélium, présence hélium, air normal, léger, force de l'air et frottement de l'air. Mentionnons que le correcteur du pré/post-test n'évalue pas les erreurs d'orthographe, car plusieurs élèves auraient perdu davantage de points juste en écrivant mal le mot hélium (éliom, élium, heliome, hélium, héliome, hélionne, et élimium).

### *1.2.2 Question 2: La bille de plomb et le bateau*

Pour bien répondre à cette question du pré/post-test, il est possible d'expliquer les forces d'un seul objet car l'autre objet subira les mêmes forces mais de manière inverse. Dans toutes les questions du pré/post-test, il n'y a aucun cas où une réponse peut être seulement  $F_g = F_p$  car même si le bateau est à la surface de l'eau, il n'est pas en équilibre car il flotte sur l'eau et il coule dans l'air.

Comme la moyenne d'augmentation de performance des deux groupes témoins est d'environ 15 % et que celle du GE-2 est de près de 36 %, il semble que le conflit cognitif est plus efficace pour qu'un élève puisse mieux répondre à cette question sur le bateau du pré/post-test (tableau 4). En effet, les élèves du GE-2 ont une augmentation de performance supérieure de 21 % comparée à celle des GC et ce 21 % est 7 % plus grand que la moyenne de 14 % de toutes les questions. Dans les faits, cette question semble favoriser davantage les élèves qui ont fait l'activité du conflit cognitif.

Tableau 4

## Différence de performance de la question 2

Question de la bille de plomb et du bateau	GC-1 Pré-test	GC-1 Post-test	GC-1 Différence	GC-2 Pré-test	GC-2 Post-test	GC-2 Différence	GC-1 et TGC-2 Différence Moyenne ( $\Delta GC$ )	GE-2 Pré-test	GE-2 Post-test	GE-2 Différence ( $\Delta cp$ )	% d'augmentation de performance( $\Delta GE$ )-( $\Delta GC$ )
Moyenne %	26	44	18	37	49	11	15	23	59	36	21

Ici aussi, certains élèves n'ont eu aucun point à cette deuxième question même s'ils ont écrit quelques mots. Par exemple, un élève explique mal le phénomène de flottaison, car le bateau est fabriqué à l'aide d'un métal spécial, ou que c'est juste un bateau ou qu'il est normal qu'il soit en équilibre. D'autres élèves n'ont eu qu'un seul point car n'en écrivant qu'un seul mot, leurs réponses n'étaient pas assez précises; il y a eu les mots air, forme, masse, poids, courbure, surface, frotte l'eau, rho, léger, lourd et pression. Enfin, plusieurs élèves ont réussi à obtenir deux points à l'aide d'une combinaison de certain terme comme la force et la forme, les deux formes différentes, deux pesanteurs, volume et surface de contact, forme et pression de l'eau, l'air est plus léger que l'eau, rho différent et enfin, si l'élève a inversé la grandeur des valeurs des deux rho. (note : rho est le symbole de la masse volumique).

### 1.2.3 Question 3: *Le sous-marin*

Les résultats de cette troisième question sont différents des deux premières car à notre grande surprise, le témoin GC-2 n'a pas augmenté sa performance au post-test. En effet, les élèves ont moins bien répondu au post-test comparativement au pré-test sur la flottabilité d'un sous-marin. Bizarrement, au lieu d'augmenter de 14 % comme la moyenne d'augmentation des questions, il y a une baisse de performance de près de 12 % (tableau 5) pour le GC-2. À noter que l'augmentation est faible aussi chez le GC-1 avec un 8 % d'augmentation. Si l'on fait la moyenne entre les deux GC (8 % et -12 %), on obtient baisse de performance d'environ 2 %. Ici, chez les deux groupes témoins, l'enseignement magistral semble plutôt inadéquat car au lieu d'améliorer les apprentissages, cela semble mélanger davantage les élèves qui performant moins bien lors de la deuxième passation du pré/post-test. Du côté du GE-2, cette question présente la plus grande différence d'augmentation de performance avec un 29 % supérieure aux groupes témoins. En effet, en passant de 11 % avec le pré-test jusqu'à 42 % lors du post-test, ce groupe expérimental a connu une augmentation de 31 % qui est supérieur à la diminution de performance de 2% par les groupes témoins. De plus, comme cette augmentation de 31 % est supérieure à l'écart-type moyen, il est permis de dire que la stratégie du conflit cognitif aide réellement à faire des apprentissages chez les élèves, car l'augmentation de performance est 29 % plus grande chez le groupe expérimental.

**Tableau 5**  
**Différence de performance de la question 3**

Question du sous-marin	GC-1 Pré-test	GC-1 Post-test	GC-1 Différence	GC-2 Pré-test	GC-2 Post-test	GC-2 Différence	GC-1 et TGC-2 Différence Moyenne ( $\Delta GC$ )	GE-2 Pré-test	GE-2 Post-test	GE-2 Différence ( $\Delta ep$ )	% d'augmentation de performance( $\Delta GE$ )-( $\Delta GC$ )
<b>Moyenne %</b>	17	25	8	34	23	12↓	2↓	12	42	31	29

Note : X↓ signifie qu'il y a une baisse de performance.

Ici encore, quelques élèves ont écrit une réponse courte à développement sans obtenir des points en utilisant des mots inadéquats comme le mot aile ou le mot moteur. Plusieurs élèves n'ont eu qu'un seul point car leurs réponses étaient trop vagues comme la masse, l'air, l'intensité de l'eau, l'air et l'eau, la force d'un moteur, la pression de l'eau et la pression de l'air. Si un élève répond en expliquant que l'eau rentre ou l'air rentre dans ses ballastes ou que l'eau est plus lourde que l'air, il obtenait deux points.

#### *1.2.4 Question 4: La montgolfière*

D'emblée, cette question sur les raisons de l'élévation lorsque l'on réchauffe l'air à l'intérieur de la montgolfière (annexe B) semble être la moins efficace au niveau de l'augmentation de performance chez le groupe expérimental (GE). En effet, dans le tableau 6, on remarque que les deux augmentations de performance sont sensiblement les mêmes, c'est-à-dire 21 % pour les deux groupes témoins et 22 % pour le groupe expérimental. Ici, la différence d'efficacité entre les deux stratégies pédagogiques est très faible (1.6 %) et cela démontre que la stratégie du conflit cognitif n'est pas toujours la stratégie gagnante.

**Tableau 6**  
**Différence de performance de la question 4**

<b>Question sur la montgol- fière</b>	<b>GC-1 Pré-test</b>	<b>GC-1 Post-test</b>	<b>GC-1 Différence</b>	<b>GC-2 Pré-test</b>	<b>GC-2 Post-test</b>	<b>GC-2 Différence</b>	<b>GC-1 et TGC-2 Différence Moyenne (<math>\Delta GC</math>)</b>	<b>GE-2 Pré-test</b>	<b>GE-2 Post-test</b>	<b>GE-2 Différence (<math>\Delta ep</math>)</b>	<b>% d'augmentation de performance(<math>\Delta GE</math>)-(<math>\Delta GC</math>)</b>
<b>Moyenne %</b>	18	41	23	26	44	18	21	17	39	22	1,6

Le vent (principe de Bernoulli) n'explique pas la flottaison de la montgolfière et c'est pourquoi un élève qui répond à l'aide de ce principe ne peut recevoir de point. Un des problèmes recensés lors de la correction des réponses des élèves était la confusion des élèves entre le mot air versus le mot aire. Parmi toutes les réponses des 204 pré/post-tests recensées, aucune fois le mot air ne signifiait le mot aire dans le sens de surface ou volume. Ainsi, plusieurs élèves n'ont pas perdu de point en écrivant le mot aire au lieu du vrai mot air dans le sens d'un gaz. Dans cette question sur la montgolfière, certains élèves n'ont récolté qu'un seul point car leurs réponses étaient trop pauvres. Par exemple, il y a eu le mot hélium car il se peut que l'élève ne soit aucunement au courant de la présence de feu dans le fonctionnement d'une montgolfière. Aussi, il y a eu des termes comme lourd versus léger, le feu monte, la fumée monte, l'air chaud monte, la pression monte, l'air chaud concentré et l'air fait pression qui ont tous valu un point. Pour avoir deux points, un élève aurait pu écrire que l'air froid est plus lourd que l'air chaud ou que la force de l'air est plus grand que  $F_g$ .



### *1.2.5 Question 5: L'objet rectangulaire coupé en deux morceaux*

Cette question à cinq points est composée de trois sous questions (5a, 5b et 5c) et elle est divisée en deux questions pour la grille de correction, c'est-à-dire un point pour la question 5a et quatre points pour les questions 5b et 5c. Ici aussi, comme la question du ballon blanc et noir dans la section 2.1 de cette analyse, les questions 5b et 5c peuvent se compléter l'une et l'autre. De cette manière, un élève peut avoir quatre points en répondant bien à l'une ou à l'autre des questions 5b et 5c.

Précisément en ce qui concerne la question 5a, elle démontre toujours l'écart-type le plus élevé (annexe D) pour tous les groupes testés, car il y a deux choix de réponse possible: si l'élève dessine les deux morceaux en train de flotter à la surface de l'eau dans les béchers, il récolte un point. Alors que si un élève dessine un des objets ou les deux n'importe où ailleurs, cela démontre qu'il n'a pas bien compris le principe d'Archimède et il ne peut récolter de point. À notre grand étonnement, dans le tableau 7, on dénote une baisse de performance chez le groupe expérimental (GE-2) comparativement aux groupes témoins GC-1 et GC-2. En moyenne, il y a eu une augmentation de 18 % chez les témoins et une baisse de 4 % chez le groupe expérimental. Les raisons probables de cet écart de près de 22 % entre les groupes témoins et le groupe expérimental seront discutées plus loin.

**Tableau 7**  
**Différence de performance de la question 5a**

<b>Question 5a sur deux Dessins</b>	<b>GC-1 Pré-test</b>	<b>GC-1 Post-test</b>	<b>GC-1 Différence</b>	<b>GC-2 Pré-test</b>	<b>GC-2 Post-test</b>	<b>GC-2 Différence</b>	<b>GC-1 et TGC-2 Différence Moyenne (<math>\Delta GC</math>)</b>	<b>GE-2 Pré-test</b>	<b>GE-2 Post-test</b>	<b>GE-2 Différence (<math>\Delta cp</math>)</b>	<b>% d'augmentation de performance(<math>\Delta GE</math>)-( <math>\Delta GC</math>)</b>
<b>Moyenne %</b>	15	33	18	32	50	18	18	15	11	4↓	22↓

Note : X↓ signifie qu'il y a une baisse de performance.

Pour bien répondre à la question 5a, il ne faut que dessiner les deux morceaux noirs au bon endroit. L'élève n'avait donc pas besoin d'écrire des mots et la correction est plus facile et rapide. Par contre, beaucoup d'élèves ont dessiné le petit morceau L au fond du bécher. Pour essayer d'expliquer leurs raisonnements à la question 5a, les élèves avaient la possibilité de développer leurs réponses en répondant aux questions 5b et 5c.

Ainsi, aux questions 5b et 5c, les élèves du GC-1 ont bien répondu en augmentant leur performance de près de 16 % (tableau 8). Par contre, le GC-2 a démontré une baisse de performance entre les deux tests avec une diminution de 1 %. Si on fait la moyenne de ces deux groupes (environ 8 %) et qu'on l'a compare avec celle du groupe GE-2 (22 %), il semblerait que la stratégie du conflit cognitif est plus efficace avec une augmentation de 15 % supérieur à celle utilisée chez les groupes témoins. Cette question est conforme avec l'augmentation moyenne de performance des 14 % de toutes les questions regroupées ensemble.

Tableau 8

## Différence de performance de la question 5b et 5c

Question 5b et 5c sur les deux morceaux L et M	GC-1 Pré-test	GC-1 Post-test	GC-1 Différence	GC-2 Pré-test	GC-2 Post-test	GC-2 Différence	GC-1 et TGC-2 Différence Moyenne ( $\Delta GC$ )	GE-2 Pré-test	GE-2 Post-test	GE-2 Différence ( $\Delta GP$ )	% d'augmentation de performance( $\Delta GE$ )-( $\Delta GC$ )
Moyenne %	24	40	16	40	39	1↓	8	19	41	22	14

Note : X↓ signifie qu'il y a une baisse de performance.

À cette question, si un élève écrit comme réponse que le morceau est aspiré par la force de l'eau ou que le frottement de l'eau ralentit le gros morceau, il ne démontre aucunement qu'il a compris le principe d'Archimède et aucun point ne lui sera accordé. Parmi les réponses qui valent un point, on dénote les mots poids, masse, petit versus gros, forme, surface, lourd versus léger, morceaux au même endroit et déplacement d'eau supérieur. Enfin, il est possible de donner deux points à un élève parce qu'il a écrit que les masses restent pareilles. Cette réponse est incomplète car ce sont plutôt les masses volumiques qui demeurent inchangées et non les masses. De plus, si un élève explique que les deux petits objets noirs flottent comme le premier objet entier et que l'élève se contredit dans ses réponses de 5b et 5c, deux points lui seront quand même accordés.

#### 1.2.6 Question 6: La glace qui flotte sur l'eau

Cette dernière question du pré/post-test porte sur les raisons de flottabilité de l'eau solide sur l'eau liquide. En moyenne, en regardant le tableau 9, les deux groupes témoins (GC-1 et GC-2) ont eu une augmentation de performance de 24 %. Du côté du GE-2, les

élèves ont commencé par le pré-test avec un maigre 9 % en augmentant jusqu'à 56 % lors du post-test. Ainsi, en soustrayant 9 % de 56 %, on obtient une augmentation de performance de près de 47 %. En faisant la différence entre 47 % pour le GE-2 et 24 % pour les groupes témoins, il semblerait que la stratégie pédagogique du conflit cognitif est 23 % plus efficace que l'utilisation de la stratégie pédagogique classique.

**Tableau 9**

**Différence de performance de la question 6**

<b>Question sur la glace</b>	<b>GC-1 Pré-test</b>	<b>GC-1 Post-test</b>	<b>GC-1 Différence</b>	<b>GC-2 Pré-test</b>	<b>GC-2 Post-test</b>	<b>GC-2 Différence</b>	<b>GC-1 et TGC-2 Différence Moyenne (<math>\Delta GC</math>)</b>	<b>GE-2 Pré-test</b>	<b>GE-2 Post-test</b>	<b>GE-2 Différence (<math>\Delta cp</math>)</b>	<b>% d'augmentation de performance(<math>\Delta GE</math>)-(<math>\Delta GC</math>)</b>
<b>Moyenne %</b>	16	46	32	36	52	16	24	9	56	47	23

Là encore, certaines réponses n'ont donné aucun point car elles n'étaient pas reliées au principe d'Archimède. Il y a eu le frottement de l'eau, la lourdeur de la glace et le froid de la glace comme réponses inadéquates. Certains élèves ont réussi à récolter un point avec une des réponses suivantes : la glace contient de l'air, la glace n'est pas attirée pas le fond, la glace est légère, le poids est moins lourd, présence d'oxygène à la surface, la glace a le même volume que l'eau, pression de l'eau. Finalement, un élève peut avoir deux points sur une possibilité de quatre s'il écrit que la glace est plus légère que l'eau.

## **CINQUIÈME CHAPITRE – DISCUSSION DES RÉSULTATS**

En répondant aux questions du pré/post-test, l'élève ayant conceptualisé le principe d'Archimède doit être capable de comparer et d'argumenter. Pour y parvenir, cela demande des connaissances de haut niveau dans la taxonomie de Bloom (Bloom et Krathwohl, 1956) car les élèves doivent être en mesure d'analyser les différentes situations concrètes. Chacune des questions du pré/post-test a ses particularités et l'analyse des résultats de la section précédente nous a permis de les distinguer. Dans ce chapitre, nous discuterons des résultats les caractéristiques de certaines questions du pré/post-test. Finalement, quelques stratégies destinées aux enseignants de sciences et technologies pour mieux enseigner le principe d'Archimède seront présentées.

### **1. CARACTÉRISTIQUES PRINCIPALES DU PRÉ/POST-TEST**

#### **1.1 Validité du groupe expérimental**

Les données du GE-1 n'ont pas été retenues pour comparer les deux types de groupes, car la majorité des élèves de ce groupe n'ont pas pris la tâche au sérieux. En classe, deux élèves turbulents ont dévalorisé le post-test. Comme ils se souvenaient qu'ils l'avaient déjà fait lors du pré-test, ils ne voyaient aucune raison de le refaire une deuxième fois. Cela a eu comme effet de décourager plusieurs autres élèves et de plus, en argumentant fortement en classe, cela ~~en~~ a déconcentré davantage. Plusieurs élèves ont ainsi laissé des questions sans réponses à la fin du post-test. De plus, comme ils ont complété leurs post-tests en 25 minutes, c'est 10 minutes de plus que tous les autres groupes. C'est pourquoi les résultats du groupe GE-1 ne se retrouvent pas dans les tableaux 3 à 9 et dans l'annexe E.

## 1.2 Niveau de performance au pré-test

Premièrement, il aurait été possible de noter les questions du pré/post-test sur trois points au lieu de quatre points, mais nous avons un dilemme: si un élève écrit uniquement comme réponse  $F_g > F_p$ , est-ce que cela démontre qu'il a vraiment bien saisi le principe d'Archimède? Probablement, l'élève a simplement appris par cœur cette équation mathématique sans vraiment comprendre la véritable portée des deux forces impliquées. C'est pourquoi les questions valent 4 points chacune sauf la cinquième question qui vaut 5 points.

Durant les pré-tests, nous avons remarqué que plusieurs élèves se sont découragés rapidement car ils savaient qu'ils n'avaient pas encore appris de contenus théoriques en lien avec le principe d'Archimède. Probablement pour certains, c'est la première fois qu'il réalisait une évaluation sans avoir préalablement vu des notions scientifiques. Lorsque l'enseignant dit au groupe que le test compte, un élève peut être perplexe et trouver l'activité bizarre car il se demande ce que l'enseignant évalue au juste. C'est pourquoi il est essentiel d'informer les élèves en ce qui concerne le but de la recherche en sciences de l'éducation. Ainsi, leurs participations actives (efforts) sont essentielles pour que l'expérience soit valide.

Parmi les quatre groupes d'ATS testés du tableau 2, le groupe GC-2 se démarque des autres en ce qui concerne le résultat du pré-test avec une moyenne de plus de 36 % comparativement à 22 %, 17 % et 19 % pour les trois autres groupes. Le groupe GC-2 est probablement plus performant que les autres. Cela se justifie par la présence d'un plus grand nombre d'élèves qui ont choisi d'étudier dans cette école de raccrocheurs pour suivre les cours sciences et environnements (SE). Ces élèves, pour la plupart, ont déjà suivi (réussi ou non) le cours de sciences et technologies (ST). Si autrement, un élève choisit le cours de sciences et technologies et environnements (STE) de quatrième secondaire, il ne devrait pas avoir de problème de crédit émis par le MELS. En effet, comme le cours ST ne vaut que quatre crédits, un élève qui veut faire un ou deux cours de sciences de 5<sup>e</sup> secondaire doit avoir préalablement fait le cours SE qui vaut deux crédits. Toutefois, pour cet élève, il reste

deux crédits à combler pour avoir un total de huit crédits nécessaires pour pouvoir s'inscrire au cours de chimie et/ou physique de 5<sup>e</sup> secondaire. C'est pourquoi il est obligé de réussir le cours ATS et le cours SE. S'il échoue le cours ATS et passe le cours SE, l'école baisse la note de SE pour lui permettre de réussir au moins le cours de sciences ATS de base. Ainsi, plusieurs élèves ayant suivi le cours ST il y a quelques mois avaient déjà vu les notions scientifiques en lien avec le principe d'Archimède. Certains élèves ont eu d'excellents résultats de 64 % et 68 % ce qui a augmenté la moyenne du groupe GC-2 (Annexe C).

En ce qui concerne la comparaison des écarts-types des deux tests pour tous les groupes et toutes les questions, on remarque une légère différence, probablement non significatives, de 4 % supérieures pour les pré-tests (tableau 2). Cela peut s'expliquer par les résultats des mêmes élèves du paragraphe précédent qui ont déjà fait entièrement ou partiellement le cours ST. En effet, au moment du pré-test, soit que l'élève est déjà au courant du principe d'Archimède ou soit qu'il en n'a jamais entendu parler. Ainsi, au niveau du pré-test, il n'y a peu ou pas de zone grise. Par contre, au niveau du post-test, plusieurs élèves vont se situer dans cette zone grise ce qui a pour effet de diminuer la valeur de l'écart-type. Parmi les quatre groupes testés, il n'y pas d'exceptions car la valeur de leur écart-type a diminué chez le post-test.

### **1.3 Niveau d'augmentation de performance au post-test**

Lorsque l'on réalise une étude quasi-expérimentale qui examine les différences entre des groupes, quatre types de résultats sont possibles au cours de la vérification des hypothèses:

- 1- les résultats prédits sont significatifs;
- 2- les résultats prédits ne sont pas significatifs;
- 3- les résultats sont mixtes ou contradictoires;
- 4- les résultats sont significatifs mais non prédits.

Dans cet essai, les résultats s'inscrivent dans la deuxième catégorie, c'est-à-dire que les résultats prédits ne sont pas significatifs. Premièrement, nous avons émis l'hypothèse

que la moyenne des résultats des post-tests ne pouvait diminuer car les élèves ont pris connaissance de nouvelles notions scientifiques en lien avec le principe d'Archimède. Mais cela est arrivé à trois occasions dans cette étude: le groupe GC-2 avec les questions du sous-marin et des deux morceaux (tableau 5 et 8) et une autre occasion avec le groupe GE-2 (expliquée plus loin). Comme le groupe témoin GC-2 n'a pas eu la « chance »<sup>1</sup> de faire l'activité du conflit cognitif, il n'y a eu aucune discussion de groupe sur le fonctionnement d'un sous-marin. En tenant compte des résultats des deux groupes témoins, c'est la question portant sur le sous-marin qui démontre la plus faible augmentation de performance. Cela peut s'expliquer par la complexité de l'objet technologique qui est le plus compliqué à construire (à imaginer) parmi tous les objets du pré/post-test.

Toujours dans le même sens, la complexité d'un objet semble influencer négativement l'augmentation de performance chez les groupes témoins. En effet, la différence d'augmentation entre le sous-marin (29 %) et la montgolfière (2 %) est explicable par le côté plus simple du fonctionnement de la montgolfière. Sans explication sur le sous-marin et ses ballastes, il est difficile d'expliquer le principe d'Archimède à l'aide d'un sous-marin. Alors que le mécanisme de la montgolfière est plus visible et par le fait même, plus concret dans les esprits des élèves et ceux-ci peuvent plus facilement reconnaître le principe d'Archimède. La valeur relativement élevée de 29 % est principalement due au groupe GC-2 qui démontre une baisse de connaissances chez les élèves qui ont vu la théorie sur le principe d'Archimède.

Étonnamment, pour la question 5a du post-test, le groupe GE-2 a baissé le niveau de performance de près de 4 % (Tableau 7). Pourtant, si un objet non creux comme du bois flotte et qu'on le coupe en deux, il va continuer à flotter. Rappelons, qu'il n'y a pas de choix de réponse intermédiaire dans cette question, car lors de l'évaluation, seules deux notes sont possibles : si l'élève dessine correctement les deux rectangles L et M au bon endroit ou non. Possiblement, les élèves du groupe expérimental ont eu des doutes lorsqu'ils sont arrivés à cette question. Ils ont dû se dire que cette question est trop facile et

---

<sup>1</sup>Nous utilisons le mot chance car une fois, une élève du groupe témoin est venue dans une pause l'après-midi et en remarquant l'aquarium, elle s'adresse à l'enseignant d'un air surpris : « Hey, pourquoi on n'a pas eu ça nous autres ce matin? »



qu'il doit y avoir un piège. Peut-on penser que la provocation d'un conflit cognitif aurait provoqué un effet pervers? Les données dont nous disposons ne nous permettent pas de répondre à cette question. Des recherches pourraient être poursuivies dans ce sens en examinant l'augmentation de la performance chez les élèves qui ont réussi à une question au pré-test et qui ont par la suite échoué à la même question au post-test. Ainsi, on pourra déceler si le fait de faire provoquer le conflit cognitif est contre-productif. Toutefois, il ne faut pas oublier que ce ne sont pas tous les élèves qui feront un changement conceptuel à l'aide du conflit cognitif.

Il est à noter qu'avec qu'un seul groupe expérimental, on ne peut déceler des tendances précises. Ainsi, une deuxième raison peut expliquer nos résultats prédits comme non significatifs. En effet, la faible taille de l'échantillon ne nous permet pas de valider statistiquement si le groupe expérimental a effectivement mieux compris le principe d'Archimède que les deux groupes témoins. La taille de l'échantillon doit être suffisamment grande pour qu'il soit possible de déceler une différence entre deux types de groupes et c'est pourquoi il faudrait refaire au moins deux autres expériences similaires avec le même enseignant pour voir si la tendance est réelle. D'autres facteurs pourraient expliquer la variabilité des résultats comme l'attitude et la rigueur de l'enseignant (effet de l'enseignant) pendant un des trois moments critiques de cette recherche, c'est-à-dire la démonstration avec l'aide d'un aquarium, le pré-test et le post-test. Aussi, l'ambiance du moment peut influencer les résultats. De même, il est possible qu'il y ait des erreurs de notation avec l'instrument de mesure même s'il y a eu une double vérification. En fin de compte, nos résultats ne sont pas statistiquement significatifs car il est probable que les différences entre les groupes sont dues au hasard et non pas l'activité pédagogique du conflit cognitif.

#### **1.4 Efficacité du changement conceptuel**

Comme le rapporte Pea (1993), provoquer un conflit cognitif chez un élève permet d'augmenter les chances de l'enseignant de produire un changement conceptuel dans l'esprit de l'élève. Le fait que les élèves discutent entre eux et avec l'enseignant permet de créer des communications et de favoriser l'interprétation de ces communications. Notre

équipe a remarqué qu'il est important de laisser les élèves réfléchir entre les questions et les affirmations durant les moments prévus pour développer un ou des conflits cognitifs. Si plusieurs discussions se déroulent simultanément, l'enseignant doit laisser une quinzaine de secondes pour laisser le temps aux élèves de réfléchir. Idéalement, tous les élèves devraient s'affirmer mais plusieurs élèves restent passifs. Mais cela ne veut pas dire qu'ils ne sont pas en train de réfléchir à leurs anciennes et nouvelles conceptions et qu'ils sont en train de traiter mentalement leurs conflits cognitifs. Toutefois, il est possible qu'un élève ne fasse pas de changement conceptuel; il se peut qu'un élève ne possède ni PE et ni habitudes interprétatives en lien avec le principe d'Archimède. Dans ce cas, ses connaissances sont plutôt fragmentées et l'approche par changement conceptuel n'est pas fonctionnelle.

L'appropriation des notions passe par l'interprétation de ce que l'élève comprend des communications de son enseignant et de ses pairs. De cette manière, un élève peut réaliser qu'il en connaît plus qu'il le croyait. D'autres élèves peuvent par exemple, redéfinir les termes en reformulant une interprétation, éliminer une interprétation, élaborer une interprétation ou stabiliser une interprétation. Notre stratégie pédagogique est une activité authentique, car elle ressemble à de vraies activités de communication lors de réunions ou lors de remue-ménages dans un autre contexte que celui de l'école.

Pour améliorer les résultats du post-test, il aurait été possible de rapprocher l'activité pédagogique du conflit cognitif du post-test. Au lieu d'attendre un mois entre les deux moments, il aurait été possible de faire le post-test 14 jours après. Par contre, cela risque de mesurer un changement conceptuel temporaire au lieu d'un changement durable. C'est pourquoi nous pensons qu'un intervalle de 30 à 45 jours pour compléter le post-test est adéquat.

## 2. STRATÉGIES PROPOSÉES À L'INTENTION DES ENSEIGNANTS

### 2.1 Efficacité de la modélisation mathématique pour l'appropriation du principe d'Archimède

D'emblée, le fait qu'un élève calcule  $F_g$  et  $F_p$  dans des exercices formatifs sur le principe d'Archimède n'aident pas beaucoup les élèves à mieux comprendre les deux forces impliquées. Par contre, le fait d'utiliser un vase à trop-plein et un cylindre gradué dans un laboratoire peut aider l'élève à mieux comprendre car il a vu le déplacement de l'eau par débordement. Ainsi, l'élève devrait être capable de se rappeler de quoi dépendent les forces  $F_g$  et  $F_p$ : la balance sert à mesurer la masse donc  $F_g$  vers le bas alors que le vase à trop-plein sert à mesurer le volume d'eau déplacé donc  $F_p$  qui pointe vers le haut. Ainsi, en utilisant et en voyant le vase à trop-plein, les élèves devraient imaginer que l'objet testé est dans un vase à trop-plein, ou dans un bassin, ou dans une piscine et que c'est uniquement la quantité d'eau qui déborde qui nous intéresse pour résoudre des problèmes portant sur le principe d'Archimède.

D'un autre côté, calculer  $F_g$  et  $F_p$  à l'aide d'une calculatrice ne risque pas de mélanger davantage les élèves (effet de contamination). Comme la formule est fournie dans l'examen du MELS à la fin de l'année, il est possible d'exercer les élèves à mieux identifier les mots importants pour savoir si une donnée chiffrée réfère plutôt à la  $F_g$  qu'à la  $F_p$ , ou l'inverse. Toutefois, un élève qui a des lacunes au niveau de la langue française risque d'associer un mot à la mauvaise force.

### 2.2 Efficacité linguistique

Selon nos observations, c'est le terme « volume » qui cause le plus de problèmes aux élèves. Ce n'est pas le mot « masse » car les élèves ont des balances à la maison et comprennent que la masse aide à calculer une force qui pointe vers le bas.

Rarement un humain va mesurer son volume car il n'a aucune raison d'en prendre connaissance. Généralement, un individu va plutôt voir sa grosseur (son volume) dans le miroir mais le chiffre exact en litres (ou  $\text{cm}^3$ ) ne l'intéresse pas. La grosseur d'une personne est plutôt calculée à l'aide de sa grandeur en centimètres et sa masse en kilogramme que l'on appelle indice de masse corporel. En valorisant fortement les notions se rapportant au volume ( $\text{cm}^3$  ou  $\text{m}^3$ ) d'un objet (solide, liquide et gazeux) en discussion de groupe, l'enseignant provoquera des productions de conversations d'apprentissage. Par exemple, il pourrait utiliser en démonstration devant la classe une bouteille de deux litres d'une boisson gazeuse remplie d'eau. Premièrement, l'enseignant demande la masse qui n'est pas deux litres. Ensuite, il demande le volume d'eau dans la bouteille qui est de deux litres. Finalement, il la vide et il met le bouchon. Il demande si la bouteille est vide et c'est quoi le volume du gaz à l'intérieur. Avec cette démonstration concrète, les élèves peuvent utiliser différents chemins de pensée et cela pourrait induire davantage de changements conceptuels permanents.

### **2.3 Habitudes interprétatives**

Toussaint (2002), qui compare les réponses d'ado (13-14 ans) versus des universitaires (19-21 ans) à l'aide de trois questions sur le principe d'Archimède, divise toutes les bonnes et les mauvaises réponses à court développement en sept catégories: l'air est léger, le poids, la pression, la nature de l'objet, la dimension de l'objet, la forme de l'objet et le vocabulaire pseudo-scientifique ou le vocabulaire scientifique inappropriée. Généralement, les réponses des élèves consistent à comparer deux de ces termes entre eux. Le vocabulaire utilisé par l'élève représente ses idées et le choix des mots devient extrêmement important, car cela détermine s'il a appris ou non les notions. La dernière catégorie est plutôt intéressante pour un enseignant car il peut dénoter des raisonnements pseudo-scientifiques comme le volume est inversement proportionnel au poids et que l'eau dégage de l'air. D'autres élèves vont répondre avec des notions scientifiques mais qui n'expliquent pas le principe d'Archimède: les mots lourd et léger, le système est ouvert-fermé, la pression de surface, la densité du métal du navire, etc.

La première habitude interprétative associée aux PE reliées au principe d'Archimède, concerne la causalité proportionnelle et elle est majoritairement utilisée par les élèves ayant commis des erreurs de compréhension. Notamment, l'enseignant doit essayer de bannir l'utilisation des mots léger et lourd dans son langage et dans le langage des élèves en ce qui concerne le principe d'Archimède. Les mots léger ou lourd sont de nature subjective car ces mots ne peuvent être utilisés seuls. L'enseignant peut par exemple, demander oralement aux élèves les questions suivantes: à partir de combien de grammes peut-on dire qu'un objet devient lourd? Est-ce que la fourmi trouve le grain de sable lourd ou léger? Les élèves vont réaliser que les mots léger et lourd peuvent nuire à la compréhension du principe d'Archimède et qu'avec de la métacognition, ils pourront proscrire l'utilisation de ces deux termes.

Beaucoup moins présente que la première habitude, certains élèves ont l'habitude d'écrire des mots comme la résistance, le frottement et la pression pour expliquer le principe d'Archimède. Celui qui utilise un de ces mots pour expliquer ses pensées prend le risque de confondre les différentes définitions. En effet, les mots résistance, frottement et pression possèdent six, quatre et cinq définitions respectivement ce qui favorise l'utilisation d'un lien inapproprié dans les esprits des élèves. Tout comme la première habitude, il faut que l'enseignant n'utilise nullement ces trois termes dans son enseignement. Le seul moment où il peut et où il doit en parler est lors d'une régulation entre lui et chacun des élèves dans l'erreur, de manière individuelle pour ne pas davantage mélanger les autres élèves avec des informations non-adéquates. L'enseignant insiste fortement sur le fait que le mot est particulier et qu'il ne sert à rien de l'utiliser pour résoudre des questions portant sur le principe d'Archimède. Idéalement, l'élève devrait développer des stratégies procédurales dans sa mémoire à long terme comme les stratégies métacognitives. Ces dernières sont des moyens pour se rappeler l'ordre des procédures où l'élève est conscient de son processus d'apprentissage. Pour y arriver, il faut que l'élève soit actif et qu'il s'autogère pour démontrer son niveau d'autonomie lorsqu'il résout des problèmes scientifiques.

La dernière habitude interprétative est celle de l'équilibre qui a été utilisée à de rares occasions par les élèves et ce, principalement dans les questions portant sur le bateau

et sur le sous-marin. Dans ce cas-ci, l'élève imagine les deux véhicules comme étant immobile. Le mot équilibre n'est pas pris dans le sens d'équilibre écologique mais dans le sens qu'il n'y pas de déplacement visible. L'élève se dit que si l'objet ne bouge pas, c'est qu'aucune force n'est présente. Comme les différentes forces sont invisibles, il est difficile d'imaginer que le bateau est poussé vers le haut. Finalement, on se rend compte que l'emploi de certains mots est parfois piégeant et qu'il devient essentiel que l'enseignant fasse une analyse correcte et complète du sens et de l'emploi des mots.

## CONCLUSION

### 1. IMPLICATIONS DE CE PROJET EN SCIENCES DE L'ÉDUCATION

En tant qu'individu, nous sommes victimes d'illusions, car une fois que notre cerveau décide qu'un renseignement est réel ou fictif, il est incroyablement difficile de le faire changer d'opinion. À cause de l'organisation du cerveau, nous fermons les yeux sur toutes preuves qui vont à l'encontre de ce que nous croyons déjà. C'est le cerveau qui décide à qui il fait confiance et c'est pourquoi les élèves doivent avoir confiance en leur enseignant et aux activités pédagogiques planifiées par ce dernier.

Choisir la meilleure situation pédagogique pour forger des apprentissages pertinents à l'aide de discussions ouvertes en classe demande une longue réflexion par l'enseignant. Un moyen pour y arriver plus vite, comme le suggère Pea (1993), est de participer à des communautés de pratiques comme des formations scientifiques ou des colloques. En discutant entre enseignants et conseillers pédagogiques, un (nouvel) enseignant va connaître des trucs de métier où tout le monde en ressortira gagnant, surtout l'élève. Durant les discussions ouvertes en classe, le rôle de l'enseignant est celui d'un collaborateur, d'un provocateur et d'un guide. Si l'on généralise notre processus pédagogique à d'autres concepts, il y a sept étapes à suivre:

- 1- Essayer de surpasser les préconceptions erronées
- 2- Tenir compte de tous les mots de vocabulaire
- 3- Abaisser le niveau d'abstraction des notions scientifiques
- 4- Augmenter le nombre de démonstration concrète
- 5- Décloisonner les notions dans d'autres disciplines (si possible)
- 6- Expliquer les limites de la contextualisation
- 7- Faire de la différenciation et de la régulation

Ainsi, on peut faire des cercles socratiques à un ou deux moments parmi les sept étapes, pour favoriser des moments de discussion constructives utilisant des interactions sociales.

Comme nos résultats démontrent une potentielle efficacité pédagogique avec la provocation d'un conflit cognitif en accord avec plusieurs chercheurs, il serait intéressant de reconduire l'expérience pendant plusieurs années pour voir si la tendance est statistiquement significative. De plus, nous pourrions comparer l'augmentation de performance entre les filles et les garçons pour voir si l'utilisation du socioconstructivisme avantage plus les filles que les garçons. Dans le même sens, est-ce que les garçons sont moins sensibles que les filles au changement conceptuel? Dans cet essai, le principe d'Archimède n'est qu'un seul concept parmi les centaines du cours d'ATS. Les résultats de cette étude nous encouragent à essayer plus souvent la stratégie du conflit cognitif pour d'autres concepts scientifiques. Par exemple, une démonstration scientifique à l'aide d'un tour de magie doit être une formule adéquate dans l'enseignement, car le côté spectaculaire intéresse les élèves et les motive davantage pour comprendre un phénomène scientifique. Ici aussi, nous suggérons de développer des communautés de pratiques de magie pour rendre les enseignements plus efficaces.

Malheureusement au Québec, nous savons qu'il y a peu de communications entre les universités (théories) et les écoles québécoises (pratiques). De plus, nous déplorons le fait que les enseignants n'ont pas d'ordre professionnel et qu'ils n'ont pas l'obligation de suivre des formations. Un ordre professionnel pourrait rapprocher les universités des écoles et pourrait obliger les enseignants à suivre au moins une formation par année. Ces formations mettraient à jour leurs savoirs et par le fait même, valideraient leurs propres conceptions et leurs PE. Par exemple, si une équipe de chercheurs suédois développe une stratégie pédagogique plus adéquate pour comprendre le principe d'Archimède, comment l'enseignant québécois ferait-il pour être mis au courant? Récemment, la menace du gouvernement du Québec de couper les vivres à plus de 350 enseignants-ressources dans les écoles de la province diminue la possibilité d'échanger des stratégies pédagogiques efficaces entre les différents intervenants.



## 2. RETOMBÉE DE L'ESSAI SUR MON DÉVELOPPEMENT PROFESSIONNEL

L'auteur principal a aussi surpassé plusieurs de ses propres PE. Par exemple, il mélangeait deux termes: il concevait initialement que la densité et la masse volumique étaient des synonymes, mais il a réalisé que le mot densité est plus puissant que l'autre car la densité est un rapport de deux masses volumiques. Il a réalisé son erreur en lisant le livre de Marcel Thouin (2001) sur les conceptions fréquentes et en lisant la définition du mot densité dans le dictionnaire. Si l'on demande à un expert scientifique d'expliquer la flottabilité d'un bateau, il va prioriser l'utilisation du mot densité car ici, l'habitude interprétative de causalité proportionnelle fonctionne. En effet, comparé au fluide dans lequel il se trouve, plus l'objet est dense plus il coule et à l'inverse, moins il est dense moins il coule.

Cette mise à jour des certains savoirs chez l'auteur est en accord avec la onzième compétence professionnelle (Gouvernement du Québec, 2001). Il a créé le pré/post-test, il l'a essayé à huit reprises, il a développé une grille de correction et l'a utilisé pour évaluer les pré/post-tests pour finalement, tout compiler à l'aide du programme Excel. En octobre 2015, l'auteur principal va participer au congrès de l'AESTQ de Sherbrooke car sa communication a été acceptée. Enfin, si l'auteur enseigne à d'autres groupes d'ATS, il va continuer à reproduire l'expérience de cet essai pour possiblement un jour, publier les résultats en anglais dans une revue internationale. De plus, le post-test pourrait être fait à deux reprises (un mois et trois mois) pour voir si l'intégration des savoirs dans les esprits des apprenants est vraiment permanente en comparant la ténacité des bonnes réponses des élèves. En somme, cette analyse est avant tout un exercice de lucidité professionnel (Perrenoud, 1999).

## RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Baser, M. et Geban, O. (2007). *Effect of instruction based on conceptual change activities on students' understanding of static electricity concepts*. Research in science and technology education journal, 25 (2), 243-267.
- Behrens, J.T. et Smith M.L. (1996). *Data and data analysis*. Dans D.C. Berliner et R.C. Calfee (dir.) Handbook of educational psychology (p. 945-989). New York : Simon and Schuster Macmillan.
- Bloom, B.S. et Krathwohl, D.R. (1956). *The classification of educational goals, by a committee of college and university examiners*, New York, Longmans.
- Çetin, P.S., Kaya, E. et Geban, O. (2009). *Facilitating conceptual change in gases concepts*. J. Sci. Educ. Technol. 18:130-137.
- Cyr, M-D., Forget, D. et Verreault, J.S. (2008). Observatoire: l'environnement. *Éditions du nouveau pédagogique inc*, p. 95-97.
- DiSessa, A.A. (2002). *Why <conceptual ecology> is a good idea*. In M. Limon et L. Mason (éd.), *Reconsidering conceptual change: issues in theory and practice* (p.29-60). Netherlands: Springer
- Durand, C. et Blais, A. (2003). *La mesure*. Dans Recherche sociale sous la direction de Benoit Gauthier. Les presses de l'Université du Québec, 185-209.
- English, J., Davies, M. et Green, R. (2008). *Floating and sinking rich task*. University of Canberra. Document téléaccessible à l'adresse : <<http://learnonline.canberra.edu.au/portfolio/view/view.php?id=750>>.
- Étienne, R. et Lerouge, A. (1997). *Enseigner en collège et en lycée. Repères pour un nouveau métier*. Paris, Armand Colin.
- Fugelsang, J.A. et Dunbar, K.N. (2005). *Brain-based mechanism underlying complex causal thinking*. Neuropsychologia, 43, 1204-1213.
- Gaudreau, L. (2011). *Guide pratique pour créer et évaluer une recherche scientifique en éducation*. Guérin Éditeur. Montréal.
- Gigerenzer, G. et Todd, P.M. (1999). *Simple heuristics that make us smart*. New York : Oxford University Press.

- Gil-Perez, D. et Carrascosa, J. (1990). *What to do about science «misconception»*. Science education. 531-540.
- Giordan, A. et DeVecchi, G. (1987). *Les origines du savoir*. Neuchatel: Delachaux.
- Gouvernement du Québec (2001). *La formation à l'enseignement. Les orientations. Les compétences professionnelles*. Québec : Ministère de l'Éducation.
- Gouvernement du Québec (2007). *Programme de formation de l'école québécoise, enseignement secondaire, deuxième cycle*. Québec: Ministère de l'Éducation.
- Gouvernement du Québec (2011). *Programme de formation de l'école québécoise, progression des apprentissages au secondaire. Science et technologie 1<sup>er</sup> cycle, science et technologie 2<sup>e</sup> cycle et science et technologie de l'environnement*. Québec: Ministère de l'Éducation.
- Gouvernement du Québec (2015). *Examen de fin d'études secondaires. 057-410. Applications technologiques et scientifiques. Épreuve écrite janvier 2015. Guide de correction*. Québec : Ministère de l'Éducation. 15p.
- Harlen, W. (2004). *Evaluating inquiry- based science developments*. Universtiy of Cambridge and the University of Bristol.
- Hewson, P. (1984) *A conceptual change approach to learning science*. *European journal of science education*, 3(4), 383-396.
- Kang, I. et Lee, S. (2012). *A conceptual framework for smart museum education*. Kyung Hee University. South Korea. Document téléaccessible à l'adresse : < <http://mwa2014.museumsandtheweb.com/paper/a-conceptual-framework-for-smart-museum-education/>>.
- Karsenti, T. et Savoie-Zajc, L. (2000). *Introduction à la recherche en éducation*, Sherbrooke, Éditions du CRP.
- Koumaras, P., Kariotoglou, P. et Psillos, D. (1996). *Pupils' conceptions as a factor for the development of experiments*. *School Science Review*, Vol. 77, No. 280, pp 97 - 101.
- Martella, R.C., Nelson, R. et Marchand-Martella, N.E. (1999). *Research methods : Learning to become a critical research consumer*. Neddham Heights (MA): Allyn and Bacon.
- Nussbaum, J. et Novick, S. (1982). *Alternative framework, conceptual conflict and accomodation : toward a principled teaching strategy*. *Instructional science*, 11, 183-200.
- Paillé, P. (2007). *La méthodologie de la recherché dans un context de recherché professionnalisante: douze devis méthodologiques exemplaires*. *Recherche qualitatives*. 27(2), 133-151.

- Perrenoud, P. (1999). *Dix nouvelles compétences pour enseigner*, Paris, ESF.
- Piaget, J-P. (1974). *La genèse de l'idée de hasard chez l'enfant*. Paris: Presses Univ. de France. (2e éd.)
- Posner, G.J., Strike, K.A., Hewson, P.W. et Gertzog, W.A. (1982). *Accommodation of a science conception: Toward a theory of conceptual change*. Science education, 66(2), 211-227.
- Potvin, P. (1998). *État de la question de la problématique du conflit cognitif en sciences au secondaire*. Mémoire de maîtrise. Université du Québec à Montréal.
- Potvin, P. (2011). *Manuel d'enseignement des sciences et de la technologie : pour intéresser les élèves du secondaire*. Québec : MultiMondes.
- Potvin, P. et Hasni, A. (2014). *Interest, motivation and attitude towards science and Technology at K-12 levels : a systematic review of 12 years of educational research*. Studies in science education, 1-45.
- Potvin, P., Mercier, J., Charland, P. et Riopel, M. (2012). *Does classroom explication of initial conceptions favour conceptual change or is it counter-productive?* Research in science educational, (42), 401-414.
- Quivy, R. et Campenhoudt, L.V. (2006). *Manuel de recherche en sciences sociales*. Dunod.
- Rival, M. (1996). *Les grandes expériences scientifiques*. Éditions du seuil. 206p.
- Tardif, J. (1992). *Pour un enseignement stratégique: l'apport de la psychologie cognitive*. Montréal: Éditions Logiques.
- Thouin, M. (2001) *Notions de culture scientifique et technologie. Concepts de base, percées historiques et conceptions fréquentes*. Québec : Multimondes.
- Toussaint, R.M.J. (2002). *Changement conceptuel et apprentissages des sciences. Recherches et pratiques*. Les Éditions logiques, 31-46.
- Turmel, É. (2012). *L'incertitude comme nouvelle piste pour favoriser le changement conceptuel de l'apprentissage de notions scientifiques*. Spectre, (42), 22-25.
- Vitruve, M. (-20) *De Architectura*. Université de Chicago.
- Vosniadou, S. et Brewer, W.F. (1992). *Mental models of the earth: a study of conceptual change in childhood*. Cognitive psychology, 24(4), 535-585.
- Zeyer, A. et Wolf, S. (2010). *Is there a relationship between brain type, sex and motivation to learn science?* International journal of science education, 32 (16), 2217-2233.

**ANNEXE A**

**RÉSULTATS DES ÉPREUVES UNIQUES, ÉCOLE AMOS, 057-410,**

**APPLICATIONS TECHNOLOGIQUE ET SCIENTIFIQUES, THÉORIE DE LA 4<sup>e</sup>**

**SECONDAIRE**

	Nbre élèves	MOYEN NEB	PCT_REUST_ NEB	MOYEN NEM	PCT_REUST_ NEM	MOYEN NMB	PCT_REUST_ NMB	MOYEN NMC	PCT_REUST_ NMC	MOYEN RF	PCT_REUST_ RF
<b>janv-14</b>											
Ensemble des élèves	100	60,1	69,8	63,8	84,8	63,8	88	63,8	88	66,7	89
Gr. 1	30	54,4	44,1	54,5	44,1	54,5	40	54,5	40	55,0	43,3
Gr. 2	33	63,5	70,6	55,4	32,4	55,3	42,4	55,3	42,4	57,1	45,5
Gr. 3	37	62	62,5	52,1	27,5	52,1	18,0	52,1	18,0	54,2	29,7
<b>juin-13</b>											
Ensemble des élèves	103	68,8	89,2	88	81,2	88	78,8	88	78,8	88,4	86,4
Gr. 11	26	62,2	85,2	71,5	88,0	71,6	96,2	71,6	96,2	73,7	100
Gr. 12	27	55,8	54,5	67,2	84,8	67,3	92,6	67,3	92,6	69,5	96,3
Gr. 13	23	57,3	66,7	59,0	60,7	59,0	56,5	59,0	56,5	62	65,2
Gr. 14	26	60,4	73,3	65,5	83,3	65,4	69,2	65,4	69,2	68,2	84,6
<b>janv-13</b>											
Ensemble des élèves	122	66,8	42,9	67,2	60,8	62,8	37,7	67,8	42,6	68,8	48,7
Gr. 1	36	54	44,4	59,3	61,1	54,3	44,4	59,1	52,8	60,6	55,6
Gr. 2	30	51,6	29	56,5	51,6	51,6	30	56,5	36,7	58,2	43,3
Gr. 3	26	56,3	42,9	54,3	35,7	50,3	30,8	54,8	34,6	56,7	38,5
Gr. 4	29	60,6	54,8	58	51,6	53,8	44,8	58,4	44,8	59,8	48,3
<b>juin-12</b>											
Ensemble des élèves	77	62,1	67,9	63,4	88,9	63,8	95,1	63,8	95,1	68,1	99
Gr. 11	28	60,4	63,3	57,3	60	57,3	53,6	57,3	53,6	59,3	60,7
Gr. 12	23	57,6	57,1	49,6	17,9	49,6	21,7	49,6	21,7	53,1	21,7
Gr. 13	26	69	84,6	53,1	30,8	53,1	26,9	53,1	26,9	55,2	30,8

Légende :

NEB : Note école brute.  
 NEM : Note école modifiée.  
 NMB : Note ministérielle brute.  
 NMC : Note ministérielle convertie.  
 RF : Résultat final.

Source : Extrait du Charlemagne

**ANNEXE B**

**PRÉ/POST-TEST DES CONNAISSANCES SUR LE PRINCIPE D'ARCHIMÈDE**










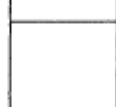

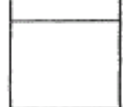
**DANS LE COURS D'ATS DE 4<sup>e</sup> SECONDAIRE**

Test sur les fluides-1

Nom : \_\_\_\_\_

Groupe : \_\_\_\_\_

Date : \_\_\_\_\_

EXPLICATION	
<b>1a</b>	<p>Deux ballons de même volume sont dans les mains d'un élève comme dans le premier dessin. Ensuite, dans le deuxième dessin, il les lâche.</p> <p>a. Selon vous, qu'est-ce qui justifie que le ballon blanc monte dans l'air?</p> <div style="display: flex; align-items: center;">  <div style="margin-left: 20px;"> <p>_____</p> <p>_____</p> </div> </div>
<b>1b</b>	b. Pourquoi le ballon noir tombe sur le sol?
<b>2</b>	<p>Une très petite bille en plomb coule dans l'eau, alors qu'un bateau très lourd est capable de flotter. Comment expliquer cela?</p> 
<b>3</b>	<p>Le sous-marin est capable de descendre au fond de l'eau et de remonter. Le sous-marin contrôle sa flottabilité en utilisant l'eau et l'air? Expliquer le principe.</p> 
<b>4</b>	<p>En chauffant l'air dans une montgolfière, elle s'élève. Pourquoi?</p> 
<b>5a</b>	<p>L'objet K flotte sur l'eau comme dans le premier dessin. L'objet K est coupé en deux pièces de grandeurs différentes (L et M). Ensuite, ils sont placés dans l'eau un par un.</p> <p><b>Dessiner</b> l'endroit dans le bécquet où vont se retrouver les deux pièces L et M.</p> <div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="margin-right: 20px;"> <p style="text-align: center;">K</p>  </div> <div style="margin-right: 20px;"> <p>K </p> <p>L </p> <p>M </p> </div> <div style="margin-right: 20px;"> <p style="text-align: center;">L  ?</p>  </div> <div> <p style="text-align: center;">M  ?</p>  </div> </div>
<b>5b</b>	b. Expliquer pourquoi vous avez dessiné la pièce L à cet endroit.
<b>5c</b>	c. Expliquer votre choix de position de la pièce M dans le dernier bécquet.
<b>6</b>	<p>Selon vous, pourquoi la glace flotte dans un verre d'eau ou sur une rivière?</p> <p>_____</p>

## ANNEXE C

**RÉSULTATS DE BONNES RÉPONSES DE QUATRE GROUPES  
D'ATS DE 4<sup>e</sup> SECONDAIRE POUR LES PRÉ/POST-TESTS  
SUR LE PRINCIPE D'ARCHIMÈDE**

Moments		Hiver 2014				Automne 2014			
Groupes	Élèves	GC-1 Pré-test	GC-1 Post-test	GE-1 Pré-test	GE-1 Post-test	GC-2 Pré-test	GC-2 Post-test	GE-2 Pré-test	GE-2 Post-test
	1	3	14	1	11	8	6	8	8
	2	8	10	5	2	7	4	6	12
	3	5	8	3	1	10	13	6	16
	4	1	4	3	5	5	8	4	15
	5	8	16	9	6	6	8	5	14
	6	5	18	10	1	2	15	5	12
	7	5	14	2	6	5	12	4	10
	8	3	8	6	11	12	12	9	13
	9	11	17	4	14	9	19	5	15
	10	6	6	5	15	11	6	3	17
	11	5	7	6	14	10	8	1	16
	12	7	9	3	8	3	16	3	7
	13	14	4	4	2	16	12	7	8
	14	5	11	4	1	9	14	2	8
	15	9	9	6	10	3	3	4	14
	16	3	6	4	8	17	9	13	15
	17	10	6	5	3	16	12	2	5

18	5	13	6	3	13	18	5	6
19	1	11	2	6	7	8	3	9
20	3	12	4	2	4	18	2	16
21	4	8	2	9	14	15	2	11
22	8		2	4	4	11	2	6
23	9		2	6	11	12	4	8
24	4		3	7	9	8	3	18
25	2		4		13	14	10	15
26	3		4		13		5	17
27	1		3		10			
28					6			
<b>Nombre d'élèves</b>	27	21	27	24	28	25	26	26
<b>Moyenne sur 25</b>	5,48148 1	10,047 61	4,1481 48	6,4583 33	9,0357 14	11,24 11,24	4,7307 69	11,961 53
<b>100%</b>	21,90%	40,19%	16,59%	25,83%	36,14%	44,96%	18,92%	47,85%
<b>Différenc e</b>		18,3% ↑		9,24% ↑		8,82% ↑		28,93% ↑
<b>Écart- type</b>	5,32681 4	4,1947 09	4,9674 51	4,3480 18	5,6495 30	4,2060 04	5,3327 98	5,0165 73
<b>100%</b>	21,30%	16,78%	19,87%	17,39%	22,60%	16,82%	21,33%	20,07%
<b>Moyenne écart-type pré-test</b>			21,28%					
<b>Moyenne écart-type post-test</b>			17,77%					
<b>Moyenne écart-type</b>			19,53%					





**ANNEXE D**

**COMPILATION DES RÉSULTATS DE HUIT GROUPES D'ATS, AVEC  
MOYENNES ET ÉCART-TYPES POUR CHAQUE QUESTION DU PRÉ/POST-  
TEST**

**Groupe : GC-1 Pré-test fait le 24 février 2014**

Question	1	2	3	4	5a	5b	6
	Ballon	Bateau	Sous- marin	Mont- golfière	Dessin	Morcea u	Glace
Élèves	/4	/4	/4	/4	/1	/4	/4
1	1	1	0	0	1	0	0
2	3	0	0	0	0	2	3
3	2	0	0	2	0	1	0
4	1	0	0	0	0	0	0
5	2	2	0	3	0	1	0
6	1	1	2	0	0	1	0
7	1	1	0	0	0	2	1
8	0	1	1	0	0	1	0
9	2	3	2	1	0	1	2
10	1	1	0	0	1	3	0
11	1	0	0	2	0	0	2
12	1	1	1	1	1	2	0
13	3	3	0	1	1	3	3
14	1	1	2	1	0	0	0
15	1	2	2	1	0	1	2
16	1	1	0	0	0	1	0
17	1	2	3	1	0	1	2
18	2	1	0	1	0	1	0
19	1	0	0	0	0	0	0
20	2	1	0	0	0	0	0

21	1	1	1	1	0	0	0
22	2	1	2	1	0	1	1
23	2	2	2	1	0	1	1
24	1	1	0	1	0	1	0
25	1	0	0	0	0	1	0
26	1	0	0	1	0	1	0
27	0	1	0	0	0	0	0
Moyenne	1,33333	1,0370	0,6666	0,7037	0,1481	0,9629	0,6296
100%	33,33%	25,93%	16,67%	17,59%	14,81%	24,07%	15,74%
Écart-type	0,73379	0,8540	0,9607	0,7753	0,3620	0,8540	1,0056
100%	18,34%	21,35%	24,19%	19,38%	36,20%	21,35%	25,14%

# **ANNEXE D (SUITE)**

**Groupe : GC-1 Post-test fait le 26 mars 2014**

Question	1	2	3	4	5a	5b	6
	Ballon	Bateau	Sous-mar marin	Mont-golfière	Dessin	Morceau	Glace
Élèves	/4	/4	/4	/4	/1	/4	/4
1	3	3	2	2	0	1	3
2	2	3	0	2	0	2	1
3	1	3	0	2	1	1	0
4	1	0	0	0	1	2	0
5	1	3	2	3	1	3	3
6	3	3	2	3	1	3	3
7	3	2	1	3	0	2	3
8	0	1	1	1	1	3	1
9	3	3	3	2	1	3	2
10	2	0	0	1	0	0	3
11	1	2	0	1	0	1	2
12	1	0	0	1	1	3	3
13	1	1	1	1	0	0	0
14	2	2	0	3	0	1	3
15	2	0	0	3	0	1	3
16	1	1	2	0	0	1	1
17	1	1	1	1	0	1	1
18	2	3	1	2	0	2	3
19	2	2	3	1	0	1	2
20	3	3	1	1	0	1	3
21	3	1	1	1	0	2	0
Moyenne	1,80952	1,7619	1	1,6190	0,3333	1,6190	1,9047
100%	45,24%	44,05%	25%	40,48%	33,33%	40,47%	47,62%

Écart-type	0,92838	1,1791	1	0,9734	0,4830	0,9734	1,2208
100%	23,21%	29,48%	25%	24,34%	48,30%	24,34%	30,52%

# **ANNEXE D (SUITE)**

**Groupe : GE-1 Pré-test fait le 24 février 2014**

Question	1	2	3	4	5a	5b	6
	Ballon	Bateau	Sous-mar marin	Mont-golfière	Dessin	Morceau	Glace
Élèves	/4	/4	/4	/4	/1	/4	/4
1	1	0	0	0	0	0	0
2	1	2	2	0	0	0	0
3	2	1	0	0	0	0	0
4	0	1	0	1	0	1	0
5	2	1	2	1	0	1	2
6	1	1	0	3	1	3	1
7	1	1	0	0	0	0	0
8	1	2	1	0	0	2	0
9	2	1	0	0	0	1	0
10	1	0	0	0	1	3	0
11	1	2	0	1	0	0	2
12	1	2	0	0	0	0	0
13	2	0	1	1	0	0	0
14	1	2	0	1	0	0	0
15	1	1	0	1	1	1	1
16	1	2	0	1	0	0	0
17	2	1	0	1	0	1	0
18	1	1	0	0	1	3	0
19	1	1	0	0	0	0	0
20	1	3	0	0	0	0	0
21	1	0	0	0	0	1	0
22	1	0	0	0	0	1	0
23	1	1	0	0	0	0	0

24	3	0	0	0	0	0	0
25	2	1	0	1	0	0	0
26	1	3	0	0	0	0	0
27	1	1	0	0	0	1	0
Moyenne	1,25925	1,1481	0,2222	0,4444	0,1481	0,7037	0,2222
100%	31,48%	28,70%	5,55%	11,11%	14,81%	17,59%	5,55%
Écart-type	0,59437	0,8639	0,5773	0,6979	0,3620	0,9928	0,5773
100%	14,86%	17,28%	14,43%	17,45%	36,20%	24,82%	14,44%

### ANNEXE D (SUITE)

#### Groupe : GE-1 Post-test fait le 26 mars 2014

Question	1	2	3	4	5a	5b	6
Élèves	Ballon	Bateau	Sous-mar marin	Mont-golfière	Dessin	Morceau	Glace
	/4	/4	/4	/4	/1	/4	/4
1	2	3	2	2	0	0	2
2	1	0	1	0	0	0	0
3	1	0	0	0	0	0	0
4	0	1	0	0	0	1	3
5	2	0	0	0	1	3	0
6	1	0	0	0	0	0	0
7	3	1	1	1	0	0	0
8	3	0	2	1	0	3	2
9	3	2	2	3	0	1	3
10	2	3	3	3	0	1	3
11	3	3	0	2	1	4	1
12	2	2	0	1	0	0	3
13	2	0	0	0	0	0	0
14	1	0	0	0	0	0	0

15	2	2	2	1	0	0	3
16	2	2	0	1	0	0	3
17	2	0	0	1	0	0	0
18	2	1	0	0	0	0	0
19	1	1	1	1	0	1	1
20	1	0	0	1	0	0	0
21	3	1	1	3	0	1	0
22	0	1	0	0	1	2	0
23	2	2	1	1	0	0	0
24	2	1	1	3	0	0	0
Moyenne	1,79166	1,0833	0,7083	1,0416	0,125	0,7083	1
100%	44,79%	27,08%	17,71%	26,04%	12,50%	17,70%	25%
Écart-type	0,88362	1,0598	0,9078	1,0826	0,3378	1,1601	1,3187
100%	22,09%	26,49%	22,69%	27,06%	33,78%	29,01%	32,96%

### ANNEXE D (SUITE)

**Groupe : GC-2 Pré-test fait le 22 septembre 2014**

Question	1	2	3	4	5a	5b	6
	Ballon	Bateau	Sous-mar in	Mont-golfière	Dessin	Morceau	Glace
Élèves	/4	/4	/4	/4	/1	/4	/4
1	3	1	0	1	0	1	2
2	1	2	0	0	0	1	3
3	1	3	0	1	0	2	3
4	1	1	2	1	0	0	0
5	1	1	2	1	0	1	0



6	2	0	0	0	0	0	0
7	2	0	1	0	0	1	1
8	2	2	1	2	1	3	1
9	1	0	2	1	1	2	2
10	2	1	2	1	1	3	1
11	1	3	2	0	0	2	2
12	1	0	0	0	0	1	1
13	3	2	3	3	1	3	1
14	0	1	1	1	1	3	2
15	0	1	1	0	0	0	1
16	3	3	3	3	1	2	2
17	3	3	3	3	0	2	2
18	3	0	2	3	1	3	1
19	3	2	0	1	0	0	1
20	3	0	0	0	0	1	0
21	3	2	0	3	0	3	3
22	1	0	2	0	0	1	0
23	3	1	1	1	1	3	1
24	2	2	2	0	1	1	1
25	0	3	3	1	0	3	3
26	3	3	1	0	0	3	3
27	0	3	3	1	0	0	3
28	3	0	2	1	0	0	0
Moyenne	1,82142	1,4285	1,3928	1,0357	0,3214	1,6071	1,4285
100%	45,54%	37,71%	34,82%	25,89%	32,14%	40,18%	35,71%
Écart-type	1,12393	1,1473	1,0803	1,0516	0,4670	1,1445	1,0497
100%	28,41%	28,68%	27,01%	26,92%	46,70%	28,61%	26,24%

# **ANNEXE D (SUITE)**

**Groupe : GC-2 Post-test fait le 12 novembre 2014**

Question	1	2	3	4	5a	5b	6
	Ballon	Bateau	Sous-mar in	Mont- golfière	Dessin	Morcea u	Glace
Élèves	/4	/4	/4	/4	/1	/4	/4
1	1	0	2	1	0	2	0
2	3	0	0	0	0	1	0
3	2	2	2	1	1	3	2
4	2	3	0	0	0	0	3
5	3	1	0	1	0	0	3
6	3	1	2	3	1	3	2
7	3	3	0	3	0	0	3
8	3	3	0	3	0	0	3
9	3	3	3	3	1	3	3
10	3	1	0	2	0	0	0
11	3	0	0	0	1	3	1
12	3	3	2	3	0	2	3
13	2	2	2	1	1	2	2
14	3	3	1	2	1	2	2
15	1	1	0	1	0	0	0
16	3	2	0	3	0	1	0
17	3	1	0	1	1	3	3
18	3	3	2	3	1	3	3
19	1	3	0	1	0	0	3
20	3	3	3	3	1	2	3
21	3	3	2	2	1	2	2
22	2	1	0	3	0	2	3
23	3	3	0	1	0	2	3

24	2	1	2	0	0	1	2
25	3	3	0	3	0	2	3
Moyenne	2,56	1,96	0,92	1,76	0,4	1,56	2,08
100%	64%	49%	23%	44%	40%	39%	52%
Écart-type	0,71180	1,1357	1,1150	1,1647	0,5	1,1575	1,1874
100%	18%	28%	28%	29.12%	50%	29%	30%

### ANNEXE D (SUITE)

**Groupe : GE-2 Pré-test fait le 18 septembre 2014**

Question	1	2	3	4	5a	5b	6
	Ballon	Bateau	Sous-mar in	Mont-golfière	Dessin	Morceau	Glace
Élèves	/4	/4	/4	/4	/1	/4	/4
1	1	2	2	0	0	2	1
2	1	1	1	0	0	2	1
3	2	1	0	1	0	2	0
4	2	1	1	0	0	0	0
5	1	1	0	2	1	0	0
6	1	1	0	1	0	1	1
7	1	2	0	0	0	0	0
8	3	2	1	1	0	1	1
9	2	0	0	2	0	1	0
10	1	0	0	1	0	0	1
11	1	0	0	0	0	0	0
12	1	1	0	1	0	0	0

13	1	2	1	1	0	1	1
14	1	1	0	0	0	0	0
15	1	0	0	1	0	1	1
16	3	3	3	1	0	2	1
17	1	0	0	1	0	0	0
18	1	1	0	0	0	2	1
19	1	1	0	0	1	0	0
20	1	0	0	1	0	0	0
21	1	0	0	1	0	0	0
22	1	0	0	1	0	0	0
23	1	1	1	0	1	0	0
24	1	1	0	0	0	1	0
25	2	1	1	1	1	3	0
26	1	1	1	1	0	1	0
Moyenne	1,30769	0,9230	0,4615	0,6923	0,1538	0,7692	0,3461
100%	32,69%	23,08	11,54%	17,31	15,38%	19,23%	8,65%
Écart-type	0,61768	0,7961	0,7605	0,6176	0,3679	0,9080	0,4851
100%	15,44%	19,90%	19,01%	15,44%	36,79%	22,70%	12,13%

### ANNEXE D (SUITE)

**Groupe : GE-2 Post-test fait le 13 novembre 2014**

Question	1	2	3	4	5a	5b	6
	Ballon	Bateau	Sous-mar in	Mont-golfière	Dessin	Morceau	Glace
Élèves	/4	/4	/4	/4	/1	/4	/4
1	1	2	1	3	0	1	0

2	1	3	2	1	0	2	3
3	3	3	2	3	0	2	3
4	3	3	0	3	1	2	3
5	2	3	3	1	0	2	3
6	3	2	2	1	0	1	3
7	3	2	0	1	0	2	2
8	2	3	2	1	0	2	3
9	3	3	3	3	0	3	0
10	3	3	3	3	0	2	3
11	3	3	3	3	0	2	2
12	1	3	0	0	0	0	3
13	2	2	1	1	0	1	1
14	2	3	2	0	0	0	1
15	3	2	3	1	0	2	3
16	3	3	2	2	0	2	3
17	1	0	0	1	0	0	3
18	3	0	0	0	0	0	3
19	1	3	0	1	0	1	3
20	2	3	2	2	1	3	3
21	3	2	2	0	0	2	2
22	1	1	2	0	0	2	0
23	1	2	0	1	0	2	2
24	4	3	3	3	0	2	3
25	4	1	3	3	1	3	0
26	3	3	3	3	0	2	3
Moyenne	2,34615	2,3461	1,6923	1,5769	0,1153	1,6538	2,2307
100%	58,65%	58,65%	42,31%	39,42%	11,54%	41,35%	55,76%
Écart-type	0,97743	0,9356	1,1922	1,1721	0,3258	0,8918	1,1421
100%	24,43%	23,39%	29,81%	29,30%	32,58%	22,30%	28,55%

**ANNEXE E**

**DIFFÉRENCE D'AUGMENTATION DE PERFORMANCE POUR TROIS**

**GROUPE D'ATS DE 4<sup>e</sup> SECONDAIRE ENTRE LE PRÉ-TEST ET LE POST-TEST**

**POUR CHAQUE QUESTIONS**

	Question	1	2	3	4	5a	5b et 5c	6
		Ballon	Bateau	Sous-mar marin	Mont- golfière	Dessin	Morceau	Glace
GC-1								
Pré-test		33,33%	25,93%	16,67%	17,59%	14,81%	24,07%	15,74%
GC-1								
Post-test		45,24%	44,05%	25%	40,48%	33,33%	40,47%	47,62%
GC-1	Différence	11,91% ↑	18,12% ↑	8,33% ↑	22,89% ↑	18,52% ↑	16,4% ↑	31,88% ↑
GC-2								
Pré-test		45,54%	37,71%	34,82%	25,89%	32,14%	40,18%	35,71%
GC-2								
Post-test		64%	49%	23%	44%	50%	39%	52%
GC-2	Différence	18,46% ↑	11,29% ↑	11,82% ↓	18,11% ↑	17,86% ↑	1,18% ↓	16,29% ↑
<b>GC-1 et 2</b>	Moyenne	15,2% ↑	14,7% ↑	1,75% ↓	20,5% ↑	18,2% ↑	7,61% ↑	24,1% ↑
GE-2								
Pré-test		32,69%	23,08	11,54%	17,31	15,38%	19,23%	8,65%
GE-2								
Post-test		58,65%	58,65%	42,31%	39,42%	11,54%	41,35%	55,76%
<b>GE-2</b>	Différence	25,96% ↑	35,57% ↑	30,77% ↑	22,11% ↑	3,83% ↓	22,12% ↑	47,11% ↑
(ΔGE) - (Δmoy- GC)	Point de %	10,77% ↑	20,86% ↑	29,02% ↑	1,61% ↑	21,69% ↓	14,51% ↑	23,01 ↑